Christoph Schindler

Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus.



DISS. ETH Nr. 18605

Christoph Schindler

Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus.



DISS. ETH Nr. 18605



DISS. ETH Nr. 18605

Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus.

Abhandlung zur Erlangung des Titels
Doktor der Wissenschaften der ETH Zürich (Dr. sc. techn.)

vorgelegt von

Christoph Schindler
Dipl.-Ing. Architekt, TU Kaiserslautern
geboren am 21. September 1973
von Erlangen, Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Referent: Prof. Dr. Ludger Hovestadt,
ETH Zürich, Departement für Architektur,
Institut für Hochbautechnik, Professur für CAAD

Korreferent: Prof. Dr. Knut Einar Larsen
NTNU Trondheim, Faculty of Architecture and Fine Art,
Department for Architectural Design, History and Technology

2009

Zusammenfassung

Zeitgenössische Fertigungstechnik ist im Begriff, einen Einfluss auf die Architekturentwicklung auszuüben wie zuletzt in der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts. Während neue computergestützte Möglichkeiten auf breiter Basis diskutiert und erprobt werden, bleiben ihre Wurzeln und ihr Verhältnis zu früheren Fertigungstechniken im Dunkeln.
Die vorliegende Arbeit betrachtet Architektur aus der Perspektive der Fertigungstechnik. Ziel ist es, die von aktueller Informationstechnik getriebene gegenwärtige Forschung im Bauwesen historisch zu kontextualisieren und als Teil einer kontinuierlichen Entwicklung zu identifizieren.
Im Zentrum der Arbeit steht als These das Schema eines allgemeinen technikgeschichtlichen Periodisierungsmodells, das handwerkliche, industrielle und informationstechnische Fertigung zu integrieren versucht. Grundlage dieses Periodisierungsmodells ist das Verhältnis der drei Kategorien Stoff, Energie und Information in der jeweiligen fertigungstechnischen Periode.
Die Stichhaltigkeit des Modells wird anhand der Geschichte des Holzbaus überprüft, da der Holzbau wie keine andere Konstruktionsweise die Beziehungen zwischen Fertigungstechnik und Bauen umfassender über einen vergleichbar langen Zeitraum illustriert. Es wird untersucht, ob das vorgeschlagene Modell sich anhand von historischen Fakten belegen lässt – wie grundlegende Veränderungen in der Fertigungstechnik die Holzverarbeitung beeinflusst und wie diese jeweils Konstruktion und Erscheinungsbild der Holzarchitektur geprägt haben.

Abstract

Contemporary production technology is about to exert an influence on the development of architecture as fundamentally as experienced during Industrialization in the 19th century. While new computer-aided methods are widely discussed and applied, their roots and relation to previous production technology remain obscure.
The present work analyzes architecture from the perspective of production technology. It aims to contextualize contemporary research in the building industry—driven by information technology—and identify it as part of a continuous development in history of technology.
The thesis is built around the scheme of a periodization model, which intends to integrate fabrication within manual, industrial and information technology. It is based on the relation between the three categories matter, energy, and information in each respective period.
The validity of the model is proven with help of history of timber architecture, as no other construction method illustrates the relation between processing technology, fabrication methods and architecture more comprehensively over a comparable period of time. It will be studied whether the proposed model can be circumstantiated with historical facts—
how constitutive changes in process technology influenced wood processing and how they respectively coined construction and appearance of timber architecture.

Danksagung

Mein Dank gilt all jenen Menschen, die zum Enstehen dieser Arbeit beigetragen haben:

— *Prof. Dr. Ludger Hovestadt*, meinem Doktorvater, der mir an der Professur für CAAD der ETH Zürich die Möglichkeit zur Beschäftigung mit computerunterstützter Fertigung im Holzbau als auch die wesentlichen Denkanstösse gab.

— *Prof. Dr. Knut Einar Larsen*, dem Korreferenten, den ich bei seinen eigenen Fallstudien im 1-2-TRE:lab der NTNU Trondheim begleiten durfte, der durch seinen denkmalpflegerischen Hintergrund eine wertvolle Unterstützung war und der mich davon überzeugte, die Arbeit aus einer persönlichen Perspektive zu erzählen.

— *Prof. em. Dr. Akos Paulinyi*, auf dessen Überlegungen zur Abgrenzung von Hand- und Maschinen-Werkzeug-Technik die Arbeit aufbaut und durch dessen Wissen sie auf eine technikhistorische Basis gestellt werden konnte.

— *Prof. Achim Menges*, von dem die entscheidende Ermutigung ausging, den Ansatz dieser Arbeit weiter zu verfolgen.

— *Sabine Kraft* für die Möglichkeit, gemeinsam die Ausgabe 193 der Architekturzeitschrift ARCH+ zum Thema Holz herauszugeben, durch die sich bei den ausführlichen Gesprächen in der Aachener Redaktion viele neue Zugänge erschlossen.

— *Markus Braach* und *Fabian Scheurer*, ohne deren Programmierung automatisierter Ausführungs- und Fertigungsplanung die Fallstudien an der ETH Zürich nicht umgesetzt hätten werden können.

— *Dr. Kai Strehlke* und *Heinrich Schindler* für das sorgfältige Korrekturlesen.

— *Margarita Salmerón Espinosa*, die mir die notwendigen Freiräume schuf und mich darüber hinaus energisch motiviert hat, wann immer es nötig war.

— *Lucas Schindler Salmerón* für die Relativierung der Relevanz dieser Arbeit.

Inhalt

1 Einführung

Baukunst ist raumgefasster Zeitwille.
Lebendig. Wechselnd. Neu.

Nicht das Gestern, nicht das Morgen,
nur das Heute ist formbar.
Nur dieses Bauen gestaltet.

Gestaltet die Form aus dem Wesen der Aufgabe
mit den Mitteln unserer Zeit.

Das ist unsere Arbeit.

Ludwig Mies van der Rohe[1]

Gegenwärtig können wir beobachten, dass zeitgenössische Fertigungstechnik im Begriff ist, einen Einfluss auf die Architekturentwicklung auszuüben, wie wir ihn seit der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts nicht mehr erlebt haben. Während neue computergestützte Möglichkeiten auf breiter Basis diskutiert und erprobt werden, bleiben ihre Wurzeln und ihr Verhältnis zu früheren Fertigungstechniken im Dunkeln. Ziel dieser Arbeit ist es, einer Mystifizierung des Computers entgegenzuwirken. Die von aktueller Informationstechnik getriebene gegenwärtige Forschung im Bauwesen soll historisch kontextualisiert und als Teil einer kontinuierlichen Entwicklung identifiziert werrden. Es wird diskutiert, wie der jeweilige Stand der Technik die Produktion von Architektur und auch die formale Ausprägung der Architektur selbst beeinflusst. Um diesen Zusammenhang zu systematisieren, schlägt diese Arbeit ein technikgeschichtliches Periodisierungsschema vor.

Holzbau spiegelt die Entwicklung der gesamten Fertigungstechnologie in der Architektur: Wegen seiner leichten spanenden Bearbeitbarkeit und der breiten Verfügbarkeit des Rohstoffs zählt der Holzbau zu den ältesten Bauweisen und war in vorindustrieller Zeit die wirtschaftlichste Bauweise. Während der Industrialisierung bestimmte mechanisierte Holzbau-Vorfertigung fast vollständig den nordamerikanischen Wohnbestand und machte den ‹wood-frame› zur Konstruktionsweise mit der heute weltweit grössten Verbreitung[2]. Organisationsformen und Fertigungskonzepte sind mit modularen Holzsystembauweisen so rationell umgesetzt worden wie in keiner anderen Bauweise. In der heutigen ‹Informationsgesellschaft› kann der Holzbau wegen der hervorragenden computergestützten Infrastruktur mit durchgängigen digitalen Produktionsketten in den Schreinereien und Zimmereien als informationstechnisch

1 Mies van der Rohe 1923a

2 vgl. Zink-Sharp 2003, S. 187

am weitesten entwickelte Bauweise auf dem Markt betrachtet werden. Keine andere Konstruktionsweise illustriert die Beziehungen zwischen Fertigungstechnik und Bauen umfassender über einen vergleichbar langen Zeitraum und daher eignet sich keine besser, um eine Systematik in deren Entwicklung bis in die Gegenwart aufzuzeigen. Diese Sonderstellung lässt den Umwelthistoriker Joachim Radkau in der Technikgeschichte des Holzes gar einen «Geheimschlüssel zur Weltgeschichte»[3] vermuten.

1.1 Ausgangslage: Fertigungstechnik als konstituierendes Element des Bauens

Im akademischen wie im praktischen Umfeld bezweifelt gegenwärtig kaum jemand die zentrale Rolle von Informationstechnik im Bauwesen. In der Architekurdiskussion der letzten zehn Jahre stossen wir unweigerlich auf die Informationstechnik und ihre Möglichkeiten. 3D-Modellier-Werkzeuge, parametrische Modelle, Selbstorganisationsforschung und computergesteuerte Werkzeugmaschinen sind nicht nur omnipräsente Hilfsmittel, sondern der sich selbst genügende Fokus des Diskurses: «Instead of being a figure in the ground of history, technology has become the ground – not an element of historical change, but the thing itself.»[4] Halten wir fest: ‹Technik› ist heute ein konstituierendes Element der Architektur.
Obwohl der Erzeugung von Information kaum Grenzen gesetzt sind, bestimmt erst ihre Verknüpfung mit digitaler Fertigungstechnik, ob und wie eine Form umgesetzt werden kann. Da alle konkret gestalteten, das heisst baulich umgesetzten Architekturen Resultate fertigungstechnischer Prozesse sind, nimmt die Produktion eine Schlüsselposition ein. Fertigungstechnik steht nicht nur dem Bausektor zur Verfügung, sondern ist Grundlage und Schnittmenge aller produzierenden Gewerbe. Sie ist der Moment im Planungs- und Bauprozess, in dem eine Idee in einer Form materialisiert wird. Dieser Zusammenhang zwischen Architektur und Technik ist grundsätzlich gegeben, aber einem ständigen Wandel unterworfen.
Die Frage nach der Rolle von Fertigungstechnik in der Architektur stellt sich nicht erst mit der Entwicklung der Informationstechnik. Das 19. Jahrhundert setzt sich in der Konfrontation der Künstlerausbildung an der École des Beaux-Arts und der Ingenieurausbildung an der École Polytechnique intensiv mit dem Einfluss der Technik auf die Architektur auseinander[5]. Der Crystal Palace auf der Weltausstellung 1851 in London oder die Galerie des Machines auf der Weltausstellung 1889 in Paris hätten ohne genaue Kenntnis der zeitgenössischen Fertigungstechnik nicht in ihrer radikalen Form umgesetzt werden können.

3 Radkau 2007, S. 14

4 Williams 2002, S. 15

5 Giedion 1941, S. 146f

Dieser Zusammenhang wurde nicht nur von den Ingenieuren, sondern auch von den Architekten unter dem Gesichtspunkt einer formalen und ästhetischen Thematisierung von Technik[6] angesprochen: Gottfried Semper (1803–1879) beispielsweise formuliert unter dem Begriff ‹praktische Ästhetik› im Jahr 1860: Das Werk sei erstens «Resultat des materiellen Dienstes oder Gebrauches» und zweitens «Resultat des Stoffes, der bei der Production benutzt wird, sowie der Werkzeuge und Proceduren, die dabei zum Einsatz kommen»[7]. Mies van der Rohe (1886–1969) spricht 1923 im eingangs aufgeführten Zitat von Formgestaltung aus dem ‹Wesen der Aufgabe› mit den ‹Mitteln unserer Zeit› und bezieht damit den jeweiligen technikgeschichtlichen Standpunkt des Architekten ein. Während das Wesen der Aufgabe jeweils projektbezogen und daher kaum verallgemeinerbar ist, sind die zeitgenössischen Mittel die Voraussetzungen für ihre Umsetzung.

1.2 Fragen und These

Zwei Dinge werfen diesbezüglich in der jüngeren Architekturgeschichte Fragen auf. Zum einen ist in der von Postmoderne und Poststrukturalismus geprägten Architekturdiskussion in den 1980er Jahren der Zusammenhang zwischen Form und Fertigungstechnik kaum reflektiert worden. Ist dies so, weil die Bautechnik in den 1980er Jahren keine Möglichkeit bot, derlei Gedanken mit Fertigungstechnik in Verbindung zu bringen?
Zum andern fiel mir auf, dass aktuelle Publikationen zur digitalen Produktion einer Verknüpfung mit bestehenden handwerklichen oder industriellen Bautechniken aus dem Weg gehen – so als bereite der Rückschritt über die Postmoderne hinweg in die Industrialisierung und ins Handwerk Schwierigkeiten. Kontextualisiert wird entweder die Entwicklung der digitalen Fertigung[8] oder mit Hinweisen auf aktuelle industrielle Prozesse wie Automobil- und Schiffsbau[9].

6 vgl. zum Begriff der ‹Technikästhetik› Pudelek 2000, S. 72.
«Gegenüber der aristotelischen wie der spätantiken Stufe der theoretischen Erfassung von Technik in der Kunst ist die moderne Technikästhetik allein Technikästhetik im bestimmtesten Sinne des Wortes: als eine Theorie, die in der Kunsttechnik nicht nur das Mittel der Übertragung allgemeiner oder individueller seelischer Zustände sieht, sondern die Technik selbst zugleich auch als das zu Übertragende bestimmt.»

7 Semper 1860 Bd. 1, S. 8:
Semper schlägt vor, «die verschiedenen technischen Künste [...] von folgenden beiden Gesichtspunkten aus zu fassen:
— erstens das Werk als Resultat des materiellen Dienstes oder Gebrauches, der bezweckt wird, sei dieser nun thatsächlich oder nur supponiert und in höherer, symbolischer Auffassung genommen.
— zweitens das Werk als Resultat des Stoffes, der bei der Production benutzt wird, sowie der Werkzeuge und Proceduren, die dabei zum Einsatz kommen.»
vgl. dazu auch Semper 1852, S. 16:
«Die Grundform, als einfachster Ausdruck der Idee, modificiert sich besonders nach den S t o f f e n , die bei der Weiterbildung der Form in Anwendung kommen, sowie nach den I n s t r u m e n t e n , die dabei benutzt werden.»

8 Schodek [et al.] 2005, S. 17–25

9 Kieran und Timberlake 2004, Chaszar 2006

Wie lässt sich damit umgehen? Ist mit dem ‹Informationszeitalter› eine neue Epoche in der Bautechnik angebrochen? Hat ein Paradigmenwechsel eines Ausmasses stattgefunden, der keinen Anknüpfungspunkt an die bisherige Architekturgeschichte zulässt? Oder fehlt nur die Methodik, einen roten Faden durch die Geschichte der Bautechnik bis in die Gegenwart zu spinnen?
Als These dieser Arbeit stelle ich ein Schema vor, dass die akuelle Architekturdiskussion über digitale Fertigung mit Hilfe fertigungstechnischer Kriterien in einen technikhistorischen Kontext rückt. Ich versuche, aus der Untersuchung der jeweiligen Fertigungstechnik unter einheitlichen Kriterien eine auf die Architektur übertragbare Gliederung abzuleiten. Das Ziel dieser Periodisierung sei mit den Worten des Althistorikers Uwe Walter eine «Feststellung von qualitativen Unterschieden im Zeitablauf»[10].

1.3 Methode und Anspruch

Aus obiger Fragestellung leiten sich Eigenschaften und Ansprüche der Arbeitsmethodik ab:

Modell und Vereinfachung
Diese Arbeit will einen Erzählfaden aufbauen, der die heutige Fertigungstechnik im Bauwesen als Teil einer langfristigen Entwicklung erscheinen lässt. Dazu wird es notwendig sein, Methoden und Begriffe zu entwickeln, mit denen Gesamtzusammenhänge dargestellt und Querverbindungen zwischen verschiedenen Disziplinen und ihren Denkweisen sichtbar gemacht werden können; im Rahmen dieser Arbeit sind dies Maschinenbau, Informationstechnik, Technik- und Baugeschichte und auch Soziologie. Dies hat zum Ziel, ein allgemeines Modell als Bezugspunkt der gegenwärtigen Architekturdiskussion zu entwickeln. Dabei betrachte ich dieses Feld in erster Linie vor dem beruflichen Hintergrund eines praktizierenden Architekten, der zum besseren Verständnis seiner eigenen Disziplin Querbezüge zu anderen Disziplinen aufzubauen versucht.
Ein solches Denkgebäude kann zwei Ansprüchen nicht gerecht werden:
— Ich bin von meiner Ausbildung her weder Maschinenbauer oder Informatiker, noch Historiker oder Soziologe. Daher will ich nicht den Anspruch stellen, diese Arbeit mit spezifischen Untersuchungen in den einzelnen Fachgebieten messen zu wollen. Der allergrösste Anteil des Inhalts ist von Arbeiten anderer Autoren abgeleitet und greift vielfach auf Sekundärliteratur zurück. Es werden weder neue Quellen ausgewertet noch spezifische Einzelheiten diskutiert. Es wird zudem wegen der Breite des Überblicks schwerfallen,

10 Uwe Walter in Der neue Pauly 2000, Bd 9, S. 575

jede einzelne Quelle auf die Richtigkeit ihrer Angaben zu prüfen. Der Schwerpunkt liegt vielmehr auf den Zusammenhängen, nicht auf der Verifizierung der Einzelheiten. Auf den Anspruch der Vollständigkeit in den Einzelheiten muss die Arbeit zugunsten der Übersicht verzichten. Bildlich gesprochen ist die gewählte Arbeitsweise horizontal verknüpfend und nicht vertikal vertiefend.

— Ein Modell stellt immer eine gewaltsame Abstraktion dar. Um Zusammenhänge sichtbar zu machen und Begriffe zu definieren, wird es notwendig sein, bestimmte Gesichtspunkte hervorzuheben und andere auszublenden. Ein Modell ist weder ein präzises Abbild der Wirklichkeit noch eine gegenstandslose Fiktion, sondern ein «zurechtgebastelter Behälter für Erscheinungen»[11], der gezwungenermassen Vereinfachungen enthält. Der österreichische Biologie Ludwig von Bertalanffy stellt die Zweischneidigkeit der Vereinfachung in den Naturwissenschaften dar. Einerseits rechtfertigt er ihre Anwendung: «Oversimplifications, progressively corrected in subsequent development are the most potent or indeed the only means toward conceptual mastery of nature.»[12] Andererseits warnt er, dass Vereinfachung die Gefahr berge, dabei «vital parts of the anatomy»[13] zu übersehen.

Der Betrachter und sein Umfeld als Teil der Betrachtung

Je nach Zeitpunkt, Standort, Erfahrung, Blickwinkel und Fokus eines Interpreten gibt es verschiedenste Lesarten von Geschichte – dies betrifft die politische Geschichte gleichermassen wie die Wirtschaftsgeschichte, die Kunstgeschichte und eben auch die Technikgeschichte. Thomas Etzemüller schreibt dazu: «In dieser Frage vertritt wohl kaum noch ein Historiker, der über geschichtstheoretische Probleme immerhin nachdenkt, ernsthaft die Meinung, dass eine vom Beobachter unabhängige Welt existiere, die dieser abbildgetreu beschreiben könne.»[14] Interpretation ist immer Spiegel ihres Interpreten. Dieser kommt nicht umhin, auf das ‹kollektive Gedächtnis› seines gesellschaftlichen Bezugsrahmens zurückzugreifen[15]. Für die vorliegende Arbeit bedeutet dies, das sie nicht von dem im Anhang abgedruckten Lebenslauf trennbar ist. Das trifft ebenso auf die Auswahl der verfügbaren Quellen zu, die durch Kriterien wie Standort und Sprachkenntnisse beeinflusst ist. Gleiches gilt wiederum für die Autoren dieser Quellen, usw.

---

11 Drechsler und Weibel 1992, S. 67

12 Bertalanffy 1968, S. 178

13 Bertalanffy 1968, S. 200:
«The advantages and dangers of models are well known. The advantage is in fact that this is the way to create a theory i.e., the model permits deductions from premisses, explanation and prediction, with often unexpected results. The danger is oversimplification: to make it conceptually controllable, we have to reduce reality to a conceptual skeleton – the question remaining whether, in doing so, we have not cut out vital parts of the anatomy.»

14 Eckel und Etzemüller 2007, S. 27

15 vgl. Halbwachs 1985; Assmann 1997

Besondere Bedeutung messe ich dem Zeitpunkt der Beobachtung bei, der das verfügbare Wissen und den Umgang damit massgeblich bestimmt. Jede Fragestellung und jede Interpretation ist unabhängig von individuellen Einflüssen ein Abbild der Zeit, in der sie entsteht und der Distanz, mit der wir auf ihren Gegenstand blicken[16].

Als Beobachter bin ich also gemeinsam mit dem Gegenstand der Betrachtung Teil der Beobachtung. Ich bilde mit ihm ein System, dem ich mir zwar bewusst sein kann, aus dessen Kontext ich mich aber selbst nicht zu lösen vermag. Ein Periodisierungsversuch ist nicht frei von einer zeit-, orts- und personengebundene Sichtweise. Es kann also nicht darum gehen, absolute Feststellungen zu treffen, sondern eine Methode zur Diskussion zu stellen. Was diese Arbeit sein will, ist mit den Worten Ernst von Glasersfelds ein «begriffliches Werkzeug, dessen Wert sich nur nach seinem Erfolg im Gebrauch bemisst»[17].

Ein Beitrag zu einer anonymen Geschichte

Die Baugeschichte kennen wir als eine Geschichte genialischer Einzelpersönlichkeiten, die jeweils eine Epoche repräsentieren. Dies hängt meines Erachtens eng mit einer kunstgeschichtlichen Lesart zusammen, die seit der Veröffentlichung von Giorgio Vasaris Künstlerbiographien[18] das Individuum in den Mittelpunkt stellt.

Als sich die Technikgeschichte im Übergang zum 20. Jahrhunderts als eigene Disziplin herausbildete[19], übernahm sie zunächst diesen Gestus, der in der Innovationsforschung mitunter als «Heroentheorie»[20] bezeichnet wird. Die jüngere Technikgeschichte dagegen stellt den Erfinderheros in Frage. Zum einen, weil Entwicklungen schrittweise aufeinander aufbauen und der Beitrag des einen ohne die Erkenntnisse des anderen kaum möglich wäre[21]. Zum andern,

---

16 Wölfflin 1923, S. XI:
«Auch die originellste Begabung kann nicht über gewisse Grenzen hinauskommen, die ihr durch das Datum der Geburt gesetzt sind. Es ist nicht alles zu allen Zeiten möglich und gewisse Gedanken können erst auf gewissen Stufen der Entwicklung gedacht werden.»
Gombrich 1996, S. 600:
«Jeder von uns, der alt genug ist, erlebt zu haben, wie aus Gegenwart Vergangenheit wird, weiss, wie sehr sich mit wachsender Entfernung die Konturen verändern.»
Kehlmann 2005, S. 9 lässt seine Romanfigur Carl Friedrich Gauss sprechen:
«Seltsam sei es und ungerecht, so recht ein Beispiel für die erbärmliche Zufälligkeit der Existenz, dass man in einer bestimmten Zeit geboren und ihr verhaftet sei, ob man wolle oder nicht. Es verschaffe einem einen unziemlichen Vorteil vor der Vergangenheit und mache einen zum Clown der Zukunft.»

17 von Glasersfeld 1996, S. 55

18 Vasari 1550

19 Technikgeschichtliche Arbeiten reichen zurück bis die Aufklärung des 18. Jahrhunderts.
Als geschichtswissenschaftliche Disziplin gilt die Technikgeschichte dennoch erst seit dem Übergang zum 20. Jahrhundert. vgl. Troitzsch und Wohlauf 1980; Hausen und Rürup 1975, S. 11

20 zum Begriff der ‹Heroentheorie› siehe Hartwell 1971, S. 125f, Pfetsch 1978, S. 127 und Weber 1978, S. 162 («Heroen- oder Rebellentheorie, wonach Innovationen der angeborenen Kreativität des jeweiligen individuellen Innovationsträgers und seinen psychologischen Eigenschaften zugeschrieben werden»). Als Beispiel einer Heroentheorie in der Technikgeschichte gelten Matschoss 1901, Geschichte der Dampfmaschine : Ihre kulturelle Bedeutung, ihre Entwicklung und ihre grossen Männer (vgl. Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 82f) sowie Smiles 1904, Lives of Engineers : Early Engineering (vgl. Hartwell 1971, S. 126)

21 Isaac Newton (1643–1727) hat dazu in einem Brief an Robert Hooke die viel zitierte Formulierung gefunden:

weil mit fortschreitender Entwicklung der Technik Erfindungen kaum noch von einem einzelnen Genie bewältigt werden können, sondern von grossen Spezialistenteams vorangetrieben werden[22]. Sie fokussiert nicht auf punktuelle Erscheinungen, sondern rückt objektivierbare technische Entwicklungen in den Vordergrund[23]. Technikgeschichte wird als eine weitgehend anonyme Geschichte ‹inkrementeller Fortschritte›[24] betrachtet, die von einem «Kollektiv der Menschen getragen»[25] wird. Der Begründer der Hamburger Journalistenschule Wolf Schneider geht noch einen Schritt weiter, indem er von der «Entbehrlichkeit aller Individuen bei jeglichem wissenschaftlichen und technischen Fortschritt»[26] spricht: «Alle wesentlichen Erfindungen sind von vielen Menschen gemacht worden, die entweder aufeinander aufbauten oder nahezu gleichzeitig zu den selben Resultaten kamen.»[27] Im Kontext der Architekturdiskussion fügt sich in dieses Bild das Geschichtverständnis Ludwig Mies van der Rohes, der «Architektur als Teil einer Epoche»[28], Bauten «ihrem Wesen nach ganz unpersönlich» und ihre Erbauer als «Träger eines Zeitwillens» bezeichnet[29].
Sigfried Giedion betont in seinem Werk ‹Mechanization takes command› von 1948, dass es nicht die Aufgabe des Historikers sei, einzelne historische Daten und Personen hervorzuheben, sondern Zusammenhänge zwischen ihnen darzustellen: «Every true historical image is based on relationship»[30]. Eine solche ‹anonyme Geschichte›, wie er seine Arbeit im Untertitel

---

«If I have seen further it is only by standing on the shoulders of Giants.»

22 Ashton 1950, S. 13–16, zitiert in Hausen und Rürup, S. 129:
«Erfindungen treten in jedem Stadium menschlicher Geschichte auf, aber sie gedeihen nur selten in einer Gemeinschaft von einfachen Bauern oder unausgebildeten Handwerkern: Nur wenn die Arbeitsteilung so weit entwickelt ist, dass Menschen sich einem einzigen Produkt oder Produktionsverfahren widmen, können Erfindungen heranreifen.»

23 vgl. dazu L. St. L. Pendred, zitiert in Dickinson 1938.
«A discursive imagination will perceive that all (i.e. inventions) are united by certain common bonds, that the passage from on to another is per gradum, not per saltum, and that there is a complete and unbroken net which combines into a single scheme every invention which has come into the mind of man since the first stone axe was made or the Sussex chalk was chipped with a reindeer horn.»

24 Degele 2002, S. 65

25 Schmidt 1965, S. 39.
«Das Geschehen in der Technik wird von dem technisierenden Kollektiv der Menschen getragen. Hätte J. Watt nicht an der Entwicklung der Dampfmaschine gearbeitet, so hätte er einen Stellvertreter gefunden. Ebenso in der Erkenntnis. Auch ohne Robert Mayer hätten wir heute den Energiesatz.»
Schmidt 1954, S. 119:
«Er (der Entwicklungsprozess der Technik, Anm. d. A.) ist notwendig und allgemein: von beliebigen Menschengruppen würde er unter gleichen Bedingungen triebhaft stets wieder vollzogen werden.»

26 Schneider 1992, S. 71

27 Schneider 1992, S. 209

28 Mies van der Rohe 1968: «Architektur ist an eine Epoche gebunden, sie ist weder eine Mode noch etwas für die Ewigkeit, sie ist Teil einer Epoche.»

29 Mies van der Rohe 1924.
«Nicht die baukünstlerischen Leistungen lassen uns die Bauten früherer Zeiten so bedeutungsvoll erscheinen, sondern der Umstand, dass antike Tempel, römische Basiliken und auch die Kathedralen des Mittelalters nicht Werke einzelner Persönlichkeiten, sondern Schöpfungen ganzer Epochen sind. Wer fragt angesichts solcher Bauten nach Namen, was bedeutet die zufällige Persönlichkeit ihrer Erbauer? Diese Bauten sind ihrem Wesen nach ganz unpersönlich. Sie sind reine Träger eines Zeitwillens. Hierin liegt ihre tiefste Bedeutung. Nur so konnten sie Symbole ihrer Zeit werden.»

30 Giedion 1948, S. 2

bezeichnet, beziehe sich direkt auf die Leitideen einer Epoche. Aber gleichzeitig müsse sie auf den Einzelerscheinungen aufgebaut werden, aus denen sie entsteht[31].
In diesem Sinn wäre es der Sache nicht dienlich, so zu tun, als gäbe es keine herausragenden Einzelerscheinungen und Einzelpersönlichkeiten. Ziel dieser Arbeit soll es vielmehr sein, die Zusammenhänge herauszuarbeiten, durch die diese letztendlich ihre herausragende Stellung einnehmen konnten.

1.4 Gliederung

Im Zentrum der Arbeit steht als These das Schema eines allgemeinen technikgeschichtlichen Periodisierungsmodells, das handwerkliche, industrielle und informationstechnische Fertigung zu integrieren versucht.
Der erste Teil der Arbeit (Kapitel 2) leitet die Komponenten des Modells geistesgeschichtlich her, zeigt dessen Verankerung in der aktuellen Konstruktionsmethodik und setzt es mit bestehenden Periodisierungsmodellen in Beziehung.
Der zweite Teil (Kapitel 3–5) überprüft die Stichhaltigkeit des Modells anhand der Geschichte des Holzbaus. Es wird untersucht, ob das vorgeschlagene Modell sich anhand von historischen Fakten belegen lässt; das heisst wie grundlegende Veränderungen in der Fertigungstechnik die Holzverarbeitung beeinflusst und wie diese jeweils Konstruktion und Erscheinungsbild der Holzarchitektur geprägt haben.
Abschliessend werden in einer vergleichenden Betrachtung einige grosse Linien durch die Geschichte skizziert (Kapitel 6), um aus deren Verlauf eine Basis für einen Ausblick zu gewinnen (Kapitel 7).

31 Giedion 1948, S. 4:
«Anonymous history is directly connected with the general, guiding ideas of an epoch. But at the same time it must be traced back to the particulars from which it arises.»

2 Fertigung als Modell

Any system with a purpose for it
(any system for which a cybernetic theory can be constructed)
also has a purpose in it, i.e. a goal;
all systems are goal directed systems.

Heinz von Foerster[32]

In diesem Kapitel soll die Technikgeschichte in ihrer Gesamtheit als ein konsistentes Modell betrachtet werden, mit dem unterschiedliche Fertigungstechniken dargestellt und aus ihren Zusammenhängen erklärt werden können. Die Methode, die uns dies ermöglichen soll, ist ein Periodisierungsmodell auf der Grundlage allgemeiner fertigungstechnischer Kriterien. Im Sinne der obigen Zeilen des österreichischen Physikers Heinz von Foerster (1911–2002) haben wir es dabei mit einem ‹goal-directed system› zu tun.

Um dieses Modell zu entwickeln, werde ich drei Prämissen in den Raum stellen und diese im Verlauf dieses Kapitels ideengeschichtlich herleiten und miteinander verweben. Ich nehme an,
— dass Fertigung als System verstanden werden kann,
— dass es in jedem Fertigungsprozess drei Systemgrössen gibt und
— dass sich die Technikgeschichte in drei unterschiedliche Perioden unterteilen lässt.

2.1 Die Hierarchisierung des Technikbegriffs

Meine Herangehensweise setzt ein bestimmtes Geschichtsverständnis voraus, dass bereits Teil der Hypothese ist. Ich postuliere, dass die Gesamtheit der Technikgeschichte nicht eine Abfolge unzusammenhängender Handlungen und deren Produkte ist, sondern für unseren Zweck als strukturiertes System mit benennbaren Faktoren verstanden werden kann. Zum andern vermute ich, dass es innerhalb dieses Systems bei demselbem Zweck dienenden Handlungen prinzipielle technische Unterschiede gibt, die auf verschiedene Perioden hinweisen. Dabei soll nicht im Vordergrund stehen, welche Maschine von welchem Erfinder und welche Konstruktion von welchem Architekten oder Ingenieur die wichtigste technische Innovation gewesen sei. Meine zentrale Frage ist, welche Änderung im System jeweils so grosse Auswirkungen

32 Foerster 1974, S. 151

hatte, dass wir von einer technikgeschichtlichen Periode sprechen können[33]. Im Hinblick auf die Verankerung des Systems in der Geschichte des Holzbaus soll darüberhinaus ein besonderes Augenmerk auf der Holzbearbeitung liegen.

2.1.1 Technik und Fertigungstechnik

Bevor ich mich an die systematische Betrachtung von Technik herantaste, will ich mich kurz damit beschäftigen, welchen Umfang dieser Begriff im heutigen Sprachgebrauch hat[34]. Obwohl er allgegenwärtig ist, gibt es «kaum ein Phänomen, das sich so konstant einer unmissverständlichen, von allen akzeptierten Definition entzieht wie gerade die Technik»[35]. Die Definitionsversuche reichen dabei von weiten und notwendigerweise unscharfen Beschreibungen bis zu präzisen Formulierungen mit nur geringer Reichweite[36]. Die heute gebräuliche Technikdefintion umfasst etwa folgende Faktoren, wie sie der Technikphilosoph Günter Ropohl (*1939) aufzählt:

— «Die Artefakte selbst,
— deren Herstellung durch den Menschen und
— deren Verwendung im Rahmen zweckorientierten Handelns.»[37]

Der Mensch steht als Hersteller und Anwender der Artefakte an zentraler Stelle. Ropohl spricht in diesem Zusammenhang von «soziotechnischen Systemen»[38]. Ropohls Begriffsvereinbarung, die «für die Technikgeschichte besonders fruchtbar erscheint, weil er sich nur so weit festlegt wie nötig»[39], baut auf der weniger leicht erschliessbaren Formulierung des Technikhistorikers Klaus Tuchel auf: «Technik ist der Begriff für alle Gegenstände und Verfahren, die zur Erfüllung individueller und gesellschaftlicher Bedürfnisse auf Grund schöpferischer Konstruktion geschaffen werden, durch definierbare Funktionen bestimmten Zwecken dienen und insgesamt eine weltgestaltende Wirkung ausüben.»[40]
Der slowakische Technikhistoriker Akos Paulinyi, auf den ich noch oft zurückgreifen werde, führt unter Ropohls Faktoren noch eine weitere Hierarchieebene ein. Er beschreibt «Technik

33 vgl. dazu Paulinyi 1978, S. 139

34 zur Bedeutung des griechischen τεχνη vgl. Heidegger 1954, S. 20f

35 Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 10

36 Füssel 1978 hat für die Begriffe ‹Technik›, ‹Technologie›, ‹Technische Wissenschaften› und ‹Polytechnik› das Bedeutungsspektrum im geschichtlichen Wandel zusammengestellt. Weitere Definitionen sieh König 1990, S. 291, Paulinyi 1978, S. 139f., Paulinyi 1990a, S. 303.

37 Ropohl 1979, S. 31

38 Ropohl 1979, S. 180: «Ein soziotechnisches System ist [...] ein Handlungssystem, in dem personale und soziale Funktionsträger mit Sachsystemen aggregiert sind.»

39 Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 11

40 Tuchel 1967, S. 24

als ein System 1) von Artefakten (d.h. künstlichen Gegenständen) und 2) von Handlungen, mit denen der Mensch zum Erreichen eines Zweckes (zur Befriedigung eines Bedürfnisses) diese Artefakte a) vorausdenkend entwirft und herstellt sowie b) anwendet»[41].

In ihrer Auseinandersetzung mit dem Technikbegriff vermeiden die Autoren sorgsam, eine ‹Definition› zu beanspruchen: Tuchel spricht von einer ‹Begriffsvereinbarung›, während Ropohl die Bezeichnung ‹Sprachverwendungsregel› wählt. Sowohl Tuchel als auch Paulinyi berufen sich auf die ‹Realtechnik› des Volkswirts Friedrich von Gottl-Ottlilienfeld, die dieser umschreibt als «das abgeklärte Ganze der Verfahren und Hilfsmittel des naturbeherrschenden Handelns»[42]. Es ist zu beachten, dass der Mensch bzw. die Anwendung der technischen Mittel durch den Menschen hier noch nicht Teil des Technikbegriffs sind. Gottl-Ottlilienfelds Begriff entspricht in seinem Umfang etwa dem, was heute unter ‹Produktionstechnik› zusammengefasst wird: nämlich alle «Verfahren, Massnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung und zweckmässigen Nutzung der Naturgesetze und der von der Natur gegebenen Energien und Rohstoffe mit dem Ziel der Herstellung neuer Güter»[43].

Sehen wir uns wiederum um, wo die Wurzeln des Begriffs der Produktionstechnik liegen, stossen wir auf einen Vorschlag von Carl Martin Dolezalek (1899–1984) aus dem Jahr 1965[44]. Dolezalek gliedert die Produktionstechnik in die drei Haupttechniken Energietechnik, Verfahrenstechnik und Fertigungstechnik sowie die Hilfstechniken Fördertechnik und Informationstechnik. Unter Informationstechnik versteht Dolezalek das maschinelle Speichern und Übermitteln von Information, vermeidet hier aber den Begriff der ‹Produktion›[45]. Informationstechnik sei nicht Teil der Produktionstechnik, sondern ihr als Hilfstechnik untergeordnet. Dolezaleks Standpunkt ist plausibel vor dem Hintergrund, dass die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1960 60% ihres Umsatzes mit Fertigungstechnik und 37% mit Verfahrenstechnik erwirtschaftet[46].

Wir sehen, dass das heutige Technikverständnis auf einem Konsens fusst, der sich seit den 1960er Jahren kaum weiterentwickelt hat und die seitdem stattfindende «Verlagerung des

---

41 Paulinyi 1999a S. 10f. in englischer Sprache zuerst erschienen in Paulinyi 1986

42 Gottl-Ottlilienfeld 1914, S. 207, zitiert in Ropohl 1979, S. 31 und Paulinyi 1998, S. 10

43 http://de.wikipedia.org/wiki/Produktionstechnik, Zugriff im August 2009

44 vgl. Dolezalek 1965
Verfahrenstechnik und Fertigungstechnik befassen sich beide mit der Verarbeitung von Stoffen. Um sie zu unterscheiden, helfen die Synonyme ‹Stoffumwandlung› und ‹Stoffgestaltung/Stoffformung› oder auch das Begriffspaar ‹Verarbeitung› und ‹Bearbeitung›:
Verfahrenstechnik (Stoffumwandlung) sind chemische und physikalische Prozesse, in denen Stoffe nach Art, Eigenschaft und Zusammensetzung verändert werden.
Fertigungstechnik (Stoffformung) ist die Herstellung von Werkstücken aus gegebenen Ausgangsmaterialien nach vorgegebenen geometrischen Bestimmungsgrössen sowie deren Zusammenbau.

45 Dolezalek 1965, S. 5.
«Die Informationstechnik hat die Aufgabe, die Gedanken des Menschen in einer Maschinensprache zu speichern, Signale an die Maschinen zu geben, die von Prüfeinrichtungen abgegebenen Signale mit Sollwerten zu vergleichen, Stellbefehle zu erteilen usw.»

46 Dolezalek 1965, S. 4

Produktionsinputs weg von Materie hin zu Wissen»[47] nicht reflektiert. Im heutigen Kontext äussert sich dies beispielsweise in der Nichtberücksichtigung der Informationsverarbeitung bei der Erteilung europäischer Patente: Die umstrittenen Technikdefinitionen des Bundesgerichtshof zeigen in ihrer Berufung auf eine «Lehre zum planmässigen Handeln unter Einsatz beherrschbarer Naturkräfte zur Erreichung eines kausal übersehbaren Erfolgs» sogar eine frappante Nähe zu der oben zitierten Realtechnik Gottl-Ottlilienfelds von 1914[48]. Nach der entsprechenden Gesetzgebung bedeutetet dies implizit, das Informationsverarbeitung nicht zum gebräuchlichen Technikbegriff gehöre[49].

Auf der Suche nach einem geeigneten Periodisierungsmodell stellt sich nun die Frage, ob Energietechnik, Verfahrenstechnik und Fertigungstechnik als Teilbereiche der Produktionstechnik gleichermassen relevant sind oder ob wir für unsere Zwecke einen einzigen Punkt fokussieren sollten, an dem die wesentlichen Veränderungen beobachtet werden können. Die Frage der Gewichtung der Teilbereiche des Technikbegriffs ist von einer Reihe von Technikhistorikern angesprochen worden. In Anbetracht der Wurzeln des heutigen Technikverständnisses überrascht es wenig, dass diese sich in ihrem Plädoyer für die besondere Bedeutung der Fertigungstechnik (als Teil der Stoffformungs- bzw. Stoffgestaltungstechnik) einig sind: «Das Subsystem der Stoffgestaltungstechnik beinhaltet in jedem System der Technik die überwiegende Anzahl technischer Handlungen» schreibt Akos Paulinyi im Jahr 1998[50]. An anderer Stelle führt er in Zusammenarbeit mit den bei ihm promovierten Technikhistorikern Volker Benad-Wagenhoff und Jürgen Ruby aus: «Alle technischen Artefakte sind Produkte der Stoffformung. Die tragende Rolle der Stoffformung in allen technischen Systemen von der Menschwerdung bis heute ist nicht nur darin begründet, dass dieses Teilsystem der Technik die Mehrzahl aller technischen Handlungen umfasst. Es geht auch darum, dass Ideen auf anderen Gebieten der Technik nur durch die mannigfaltigen und heute kaum noch zu überse-

---

47 Degele 2002, S. 166; vgl. Machlup 1962, Bell 1973, Drucker 1993

48 Technikdefinitionen des Bundesgerichtshofs BGH:
— «Technisch ist eine Lehre zum planmässigen Handeln unter Einsatz beherrschbarer Naturkräfte zur Erreichung eines kausal übersehbaren Erfolgs.» BGH: ‹Rote Taube› 1969
— «. . als patentierbar anzusehen [ist] eine Lehre zum planmässigen Handeln unter Einsatz beherrschbarer Naturkräfte zur Erreichung eines kausal übersehbaren Erfolges.» BGH: Dispositionsprogramm 1977
— «Der Begriff der technischen Erfindung lässt sich dahin formulieren, dass darunter die planmässige Benutzung beherrschbarer Naturkräfte ausserhalb der menschlichen Verstandestätigkeit zur unmittelbaren Herbeiführung eines kausal übersehbaren Erfolges zu verstehen ist.» BGH: Walzstabteilung 1980

49 In der gegenwärtigen europäischen Patentpraxis können keine Patente vergeben werden, wenn die sogenannte ‹Technizität› nach §1 Abs. 1 PatG (entspricht Artikel 52 des Europäisches Patentübereinkommen EPÜ 1973) nicht gegeben ist:
(1) Patente werden für Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt, sofern sie neu sind, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind.
(3) Als Erfindungen im Sinne des Absatzes 1 werden insbesondere nicht angesehen:
— Entdeckungen sowie wissenschaftliche Theorien und mathematische Methoden;
— ästhetische Formschöpfungen;
— Pläne, Regeln und Verfahren für gedankliche Tätigkeiten, für Spiele oder für geschäftliche Tätigkeiten sowie Programme für Datenverarbeitungsanlagen,
— die Wiedergabe von Informationen.

50 Paulinyi 1998, S. 29

henden Techniken der Stoffformung zu Vorrichtungen der Stoffumwandlung, zu Energieumformern und -umwandlern und zu technischen Systemen der Informationsverarbeitung und -vermittlung gemacht werden können. Die Stoffformung war und ist also das tragende Teilsystem jeder Technik.»[51] Sie «bestimmt, welche Art der Energie- und der Informationstechnik produziert und/oder eingesetzt wird»[52].
Günter Ropohl formuliert: «Da alle stofflich und konkret gestalteten Artefakte Resultate von fertigungstechnischen Prozessen sind, ist die ‹Fertigungstechnik die Mutter der Technik›»[53].
Auf die unterschiedliche Verwendung der Begriffe Stoffformung und Fertigungstechnik komme ich am Ende dieses Kapitels noch kurz zu sprechen.

2.1.2 Die Gliederung der Fertigungstechnik

Die systematische Betrachtung von Technik und Fertigungstechnik hat ihre Wurzeln zeitgleich mit dem Beginn der industriellen Revolution im ausklingenden 18. Jahrhundert. Um das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren, will ich an dieser Stelle nur gerade so tief einsteigen, bis der Anfang des aufgenommenen Erzählfadens benannt ist.

Technik und Technologie
Im Folgenden wird sowohl von Technik als auch von Technologie die Rede sein. Diese Unterscheidung ist durch den in den letzten Jahrzehnten gewachsenen Einfluss des englischen Begriff ‹technology› erschwert worden, der gleichermassen Technik und Technologie umfasst[54]. Wollen wir eine Abgrenzung vornehmen, so versteht man unter Technologie «die Lehre von den Verfahren»[55]. Während ‹Technik› also die Anwendung eines Verfahrens darstellt, ist ‹Technologie› seine Beschreibung und Klassifizierung.

Johann Beckmann und die allgemeine Technologie
Als Vater der systematischen Betrachtung von Technik und direkter Vorläufer der heutigen Klassifizierungen im deutschsprachigen Raums, die für unser Modell grundlegend sind, gilt

51 Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 192

52 Paulinyi 1999a, S. 29

53 Ropohl 1979, S. 179

54 Ein Beispiel dafür ist die Verwendung des Begriffs ‹Informationstechnologie›, der durch die direkte Ableitung des englischen ‹information technology› häufig an Stelle von ‹Informationstechnik› gebraucht wird.

55 Grünewald H.: ‹Technologie› und ‹Technik›, in: VDI-Nachrichten Nr. 8 / 24.02.1971, zitiert nach Fussel 1978, S. 19
Grünewalds Technologie-Begriff deckt sich mit der Beschreibung auf Wikipedia:
«Der Begriff T e c h n o l o g i e (griech. τεχνολογια technologia = die Herstellungs- bzw. Verarbeitungslehre) bezeichnet zunächst die Lehre oder Wissenschaft von einer Technik. Im heutigen Sprachgebrauch wird der Begriff – in der Regel in Folge von Anglizismus häufig als Synonym für Technik verwendet. Der Begriff Technik bezeichnet eine Methode, die eingesetzt wird, um ein bestimmtes Ergebnis zu erreichen. Der Begriff Technologie bezeichnet das Wissen um diese Technik.»
http://de.wikipedia.org/wiki/Technologie, Zugriff im Mai 2008

der Philosoph und Ökonom Johann Beckmann (1739–1811). Beckmann ist nicht der erste, der sich mit Technikgeschichte auseinandersetzt. Neu ist aber sein Interesse, die überlieferten Daten und Fakten zu verifizieren – im Gegensatz zu älteren Auseinandersetzungen mit Technikgeschichte, deren «Verfilzung von Tatsachen, Irrtümern und Legenden einer wissenschaftlichen Überprüfung nicht standhalten»[56]. Beckmann gebraucht als erster ab 1772[57] den Begriff ‹Technologie› mit der heutigen Bedeutung einer «Wissenschaft, welche die Verarbeitung der Naturalien, oder die Kenntnis der Handwerke, lehrt»[58] – «was man bis dahin [...] ‹Kunstgeschichte› genannt hatte.»[59]

Den Technologie-Begriff gliedert Beckmann 1806 in eine ‹allgemeine Technologie›, «ein Verzeichnis alle der verschiedenen Absichten [...] und Mittel»[60] und eine ‹besondere Technologie› zur Beschreibung der einzelnen Verfahren. Karl Karmarsch urteilt, Beckmann beschreibe «dieselben sehr kurz und ohne erhebliche Berücksichtigung praktischer Einzelheiten [...] Alles ist rein beschreibend und selbst in dieser Beziehung, mit wenigen Ausnahmen, dürftig.»[61]

Die Gliederung von Beckmanns allgemeiner Technologie kennt zwei Hauptgruppen mit darunterliegenden Hierarchieebenen: Zerkleinern [1) Spröde Körper, 2) Weiche Körper, 3) Faserige Körper, 4) Metalle, 5) Salze und 6) Wasser] sowie Glätten, Schlichten, Glänzen, Polieren. Die Holzbearbeitung beispielsweise findet sich dabei als Zersägen, Zerhobeln und Zerspalten unter den spröden Körpern. In Beckmanns Einteilung sind allein handwerkliche Tätigkeiten aufgenommen; industrielle Verfahren waren ihm noch nicht bekannt[62].

---

56 Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 46

57 Karmarsch 1872, S. 864

58 Beckmann 1787, S. 17:
«Technologie ist die Wissenschaft, welche die Verarbeitung der Naturalien, oder die Kenntis der Handwerke, lehrt. Anstatt dass in den Werkstellen nur gewiesen wird, wie man zur Verfertigung der Waren, die Vorschriften und Gewohnheiten des Meisters befolgen soll, giebt die Technologie, in systematischer Ordnung, gründliche Anleitung, wie man zu eben diesem Endzwecke, aus wahren Grundsätzen und zuverlässigen Erfahrungen, die Mittel finden, und die bei der Verarbeitung vorkommenden Erscheinungen erklären und nutzen soll.»
vgl. dazu auch Duden Etymologie 2001, S.840.
«Technologie ‹Gesamtheit der technischen Prozesse in einem Fertigungsbereich; Methodik in einem bestimmten Forschungsgebiet; technisches Verfahren›: Die seit der 1. Hälfte des 18. Jh.s gebräuchliche Form ‹Technologie› geht auf nlat. technologia zurück. ‹Technologie› wurde zuerst im Sinne von ‹Lehre von den Fachwörtern, Systematik der Fachwörter› verwendet. In dieser Bedeutung wurde es später durch ‹Terminologie› ersetzt. Seit der 2. Hälfte des 18. Jh.s bezeichnete es die Wissenschaft und Lehre von der handwerklich-praktischen Fertigung, seit dem 19. Jh. bildete sich dann die heutige Bedeutung heraus.»

59 Karmarsch 1872, S. 864, vgl. Beckmann 1787, S. 18
«Ich habe es gewagt, Technologie, statt der seit einiger Zeit üblichen Benennung Kunstgeschichte, zu brauchen, die wenigstens ebenso unrichtig, als die Benennung Naturgeschichte für Naturkunde ist. Kunstgeschichte mag die Erzählung von der Erfindung, dem Fortgange und dem üblichen Schicksal einer Kunst heissen; aber viel mehr ist die Technologie, welche alle Arbeiten, ihre Folgen und ihre Gründe vollständig, ordentlich und deutlich erklärt.»

60 Beckmann 1806, S. 465:
«Nun wünsche ich ein Verzeichnis aller der verschiedenen Absichten, welche die Handwerker und Künstler bei ihren verschiedenen Arbeiten haben, und daneben ein Verzeichnis aller der Mittel, durch welche sie jede derselben zu erreichen wissen. So einem Verzeichnisse würde ich den Namen der a l l g e m e i n e n T e c h n o l o g i e, oder des ersten oder allgemeinen Teils der Technologie geben. Der b e s o n d e r e Teil behielte die Beschreibungen der einzelnen Handwerke.» [Hervorhebung im Original]

61 Karmarsch 1872, S. 865

62 Fussel 1978, S. 27

Karl Karmarsch und die spezielle Technologie

1872 übernimmt der Technologe Karl Karmarsch (1803–1879)[63] Beckmanns Begriffe der ‹allgemeinen Technologie› zur Systematisierung von Verfahren und der ‹besonderen (bei Karmarsch ‹speziellen›) Technologie› zur Beschreibung von Verfahren. Dabei trifft Karmarsch erstmals die Unterscheidung zwischen der Verfahrenstechnik und der Fertigungstechnik, die auch heute noch unser Technikverständnis prägt; bei Karmarsch bezeichnet als mechanische (‹Veränderung von Form›) und chemische Technologie (‹Veränderung von Materie›)[64]. Die chemische Technlogie, also die Verfahrenstechnik, schliesst er aus den Begriffen der allgemeinen und speziellen Technlogie aus und beschränkt diese nur auf die mechanische Technologie[65].

Als Gliederung der allgemeinen Technologie schlägt Karmarsch ‹verwandte Bearbeitungsmittel› vor. Karmarsch unterscheidet allgemein in 1) Zerteilung oder Zerkleinerung, 2) Vereinigung oder Verbindung, 3) Formungs- oder Gestaltungsprozesse und 4) alle Arten des Durchbohrens[66]. In Karmarschs 1700-seitigem Hauptwerk, dem ‹Handbuch der mechanischen

63 Karl Karmarsch war langjähriger erster Direktor der Polytechnischen Schule, der späteren Technischen Hochschule in Hannover. «Karmarsch gehörte zu den Begründern der wissenschaftlichen mechanischen Technologie, der es um die Verbindung der exakten Wissenschaften mit ihrer technischen Anwendung geht. Er gilt als einer der letzten Lehrer und Forscher, die noch die gesamte mechanische Technologie beherrschten.» Kettner und Klingenschmitt 1967, S. 419; weitere biographische Angaben siehe Spur 1998, S. 44f

Füssel 1978 S. 5 bezeichnet Karmarsch und Beckmann als die beiden «Väter der Technologie».

64 Karmarsch 1875 Bd. 1, S. 1:

«Die Technologie hat zum Gegenstande die systematische Beschreibung und Erklärung derjenigen Verfahrensarten und Hilfsmittel, welche die bei der Verarbeitung roher Naturprodukte zu Gegenständen des menschlichen Gebrauchs unmittelbare Anwendung finden.

Durch die Verarbeitung der Naturprodukte oder die fernere Veredlung schon verarbeiteter Gegenstände (Fabrikate) wird entweder bloss deren Form, oder es wird deren Materie verändert. Nach dieser Rücksicht zerfallen die sämtlichen Bearbeitungsmethoden in mechanische und chemische, wodurch zwei Hauptabteilungen der Technologie entstehen. Die m e c h a n i s c h e T e c h n o l o g i e behandelt jene Bearbeitungsweisen, durch welche das Material ausschliesslich eine Veränderung seiner F o r m erleidet, der Substanz nach aber das Nämliche bleibtm was es vorher war (Beispiele: das Giessen, die Umwandlung der Metalle in Draht und Blech, das Spinnen und Weben des Flachses, der Wolle u.f.f.)

Die c h e m i s c h e T e c h n o l o g i e findet ihren Gegenstand in denjenigen Arbeitsprozessen, welche das Material einer wesentlichen Veränderung seiner S u b s t a n z unterwerfen (Beispiele: die Bereitung des Bleiweisses aus Blei, des Grünspans aus Kupfer, des Branntweins aus Korn, der Kohle aus Holz.).»

[Hervorhebung im Original]

65 Karmarsch 1875 Bd. 1, S. 1

«Die mechanische Technologie [...] erhält, je nach der für den Vortrag gewählten Methode, den Namen der allgemeinen oder speziellen Technologie.»

66 Karmarsch 1872, S. 866f

«Die s p e z i e l l e T e c h n o l o g i e macht es sich zur Aufgabe, den Gang des Verfahrens zu beschreiben, welcher befolgt wird, um ein bestimmtes Rohmaterial in ein bestimmtes Fabrikat zu verwandeln; sie muss also die Mittel, Werkzeug und Maschinen hierzu in ihrer Aufeinanderfolge angeben und erklären, die verschiedenen Zustände, welche der Urstoff bis zu gänzlicher Verarbeitung durchläuft, der Reihe nach betrachten, und gewährt somit ein lebendiges Bild von dem Entstehen des Fabrikats [...].

Die a l l g e m e i n e T e c h n o l o g i e dagegen ordnet die Gesamtheit der in den verschiedenen Gewerben vorkommenden Verfahrensarten nach der Gleichheit oder Ähnlichkeit ihres Zweckes in Rubriken, deren jede eine Gruppe verwandter Bearbeitungsmittel darbietet, wobei die Art der Materialien, auf welche die Bearbeitung angewendet wird, nur eine Nebenrücksicht begründet. So werden demnach alle Mittel und Verfahrensarten zur Z e r t e i l u n g o d e r Z e r k l e i n e r u n g der Stoffe (durch Spalten, Zerschneiden, Zerreissen, Zerreiben und Zerdrücken, Zerschlagen, Schaben) zusammengestellt, beschrieben und verglichen; ferner alle Methoden der V e r e i n i g u n g o d e r V e r b i n d u n g (als: Binden, Zusammendrehen, Flechten, Weben, Nähen, Leimen, Kitten, Löthen, Schweissen, Nieten, Nageln, Schrauben u.f.f.); alle F o r m u n g s - o d e r G e s t a l t u n g s p r o z e s s e (Giessen, Schmieden, Walzen, Biegen, Treiben, Pressen, Ziehen, Behobeln, Feilen,

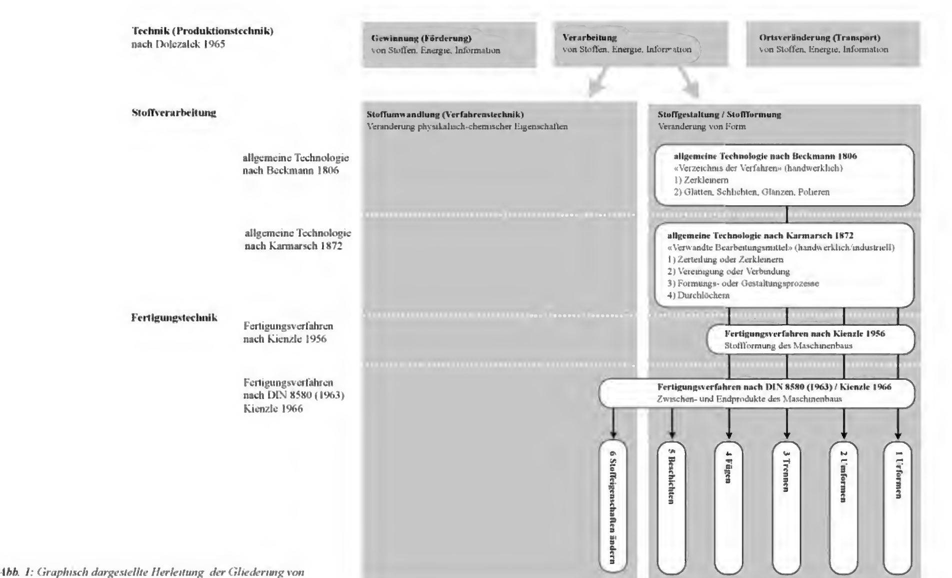


Abb. 1: Graphisch dargestellte Herleitung der Gliederung von Technik in ihre Subsysteme nach gültiger deutscher Normierung

Technologie› folgt er der speziellen Technologie und nähert sich nur ‹zum Teil› der allgemeinen Technologie[67]. Nur so ist es zu erklären dass er die obige Systematik nicht auf alle Werkstoffe gleichermassen zu übertragen versucht und stattdessen für die fünf Werkstoffgruppen Metalle, Holz, Spinnerei und Weberei, Papier und Glas- und Tonwaren jeweils eine eigene, werkstoffspezifische Systematik entwirft.

Otto Kienzle und die Einteilung der Fertigungsverfahren

Auf den Maschinenbauer Otto Kienzle (1893–1969)[68] geht schliesslich die heutige werkstoffübergreifende Einteilung der Fertigungsverfahren in der Leitnorm DIN 8580 zurück. 1956 schlägt Kienzle vor, die Fertigungstechnik in vier Fertigungsverfahren zu gliedern: 1) Urformen, 2) Umformen, 3) Trennen, 4) Fügen[69] und ergänzt im Rahmen des Deutschen Normenausschusses für die 1963 erstmals veröffentlichte DIN 8580 die Verfahren 5) Beschichten und 6) Stoffeigenschaften ändern[70]. Kienzles allgemeiner Begriff der Fertigungstechnik entspricht (unbeabsichtigt) Karmarschs mechanischer Technologie für die Metalle[71]. Dies zeigt, dass die anderen Materialien in der Fertigungstechnik seit dem 19. Jahrhundert an Relevanz verloren haben. Kienzles Begriff kann zusammengefasst werden als die Herstellung umgeformter Werkstücke aus gegebenen Ausgangsmaterialien nach vorgegebenen geometrischen Bestimmungsgrössen als auch deren Zusammenbau. Wie schon Karmarsch betrachtet Kienzle die chemische Technologie nicht.

Drechseln); alle Arten des D u r c h l ö c h e r n s (Stechen, Durchschlagen, Durchschneiden, Bohren).
Es springt in die Augen, welch grosses Interesse eine gelungene Ausführung dieser Art, durch Ergründung der innern Ähnlichkeit scheinbar heterogener Arbeiten und Werkzeuge, sowie hinwieder durch Motivierung der vorhandenen Verschiedenheit der Mittel bei Gleichheit des Zwecks gewähren muss, indem sie neue Gesichtspunkte aufdeckt [...].»
vgl. auch Karmarsch 1875, Bd. S. 1f

67 Karmarsch 1875 Bd. 1, S. 2

68 Kurzbiographie siehe Spur 1991, S. 441f

69 Kienzle 1956, S. 1389
«Fertigen heisst, aus einer dargebotenen Stoffmenge ein nach Form, Grösse, Genauigkeit, Stoff und Aussehen vorbestimmtes Gebrauchsstück herzustellen: ein Zahnrad, einen Motor, eine Glühlampe, ein Kleidungsstück. Dazu steht uns eine Anzahl von Verfahren zur Verfügung, die wir ordnen können, indem wir sie in einige grosse Gruppen gliedern:
U r f o r m e n , d.h. aus dem formlosen Stoff erste Formen herstellen, diese Gruppe umfasst das Giessen, das Pressen von Kunststoffen oder von Sinterteilen aus pulverigem Stoff u.a.m.
U m f o r m e n , d.h. eine erste Form in eine andere überführen, z.B. durch Stauchen, Ziehen, Fliesspressen, Biegen, Prägen, Schmieden u.a.m.
T r e n n e n durch Auseinanderschneiden, Abschneiden von Enden und Rändern sowie durch Abheben von Spänen u.a.m.
V e r e d e l n ; und zwar äusserlich durch Behandeln der Oberflächen und innerlich durch eine Wärmebehandlung. Sind damit die Einzelteile einbaufertig, so folgt als letzte Verfahrensgruppe das
F ü g e n , teils durch Verbindung von Stoffen (wie Schweissen, Löten, Kleben), teils durch Ausnutzen der Stoffhaftung (wie Verkeilen, Schrauben, Einpressen, Schrumpfen), teils durch Umformen (wie Nieten, Falzen, Flechten, Nähen).»
[Hervorhebung im Original]

70 Kienzle 1966, aktuelle Ausgabe DIN 8580 2003-09

71 Kienzle 1966; S. 169:
«Es ist nicht ohne Reiz, hinterher festzustellen, dass Karmarsch im Grunde genommen dieselbe Einteilung schon hatte, indem er seine mechanischen Technologie für die Metalle wie folgt gliederte: Giesserei – Schmieden und Walzen – Zerteilung und Formung – Zusammenfügen – Verschönerung.» vgl. Karmarsch 1875 Bd. 1
(die 6. Hauptgruppe ‹Stoffeigenschaften ändern› fehlt bei Karmarsch, Anm. d. A.)

Kienzles sechs Hauptgruppen bilden die Grundlage einer systematischen Betrachtung von Fertigungsprozessen. Sie sind in Gruppen aufgeteilt, die sich ihrerseits noch einmal in Untergruppen gliedern. So ist zum Beispiel allein das System ‹Trennen› in 35 Untergruppen aufgeteilt. In der Hauptgruppe ‹Trennen› findet sich als Subsystem das ‹Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide›, zu denen eine Ebene darunter als Subsubsystem die wichtigsten Verfahren der Holzverarbeitung wie Bohren, Fräsen und Sägen zählen. Als Kriterium der Unterscheidung dient jeweils der «Zusammenhalt sowohl zwischen den Teilchen eines festen Körpers als auch zwischen den Bestandteilen eines zusammengesetzten Körpers»[72]: Der Zusammenhalt wird entweder geschaffen (Urformen), beibehalten (Umformen, Stoffeigenschaften ändern), vermindert (Trennen) oder vermehrt (Fügen, Beschichten)[73]. Durch die Normierung in DIN 8580 ist der Umfang des Begriffs ‹Fertigungsverfahren› eindeutig und mit einer beinahe konsistenten Systematik[74] festgehalten. Für die Anwendung in einer technikgeschichtliche Betrachtung wie der unserigen ist dabei von Belang, dass der Begriff der Fertigungsverfahren sowohl maschinelle als auch handwerkliche Verfahren umfasst: «Die Fertigungsverfahren können von Hand oder mittels Maschinen und anderen Fertigungseinrichtungen in der Industrie oder im Handwerk ausgeführt werden.»[75]
Nun habe ich den Rahmen des Modells abgesteckt: Von besonderem Interesse ist innerhalb der Technik die Stoffformung und innerhalb dieser die Fertigungstechnik und ihre Teilsysteme, die in allen technischen Systemen die tragende Rolle spielt. Den durch seine Normierung weit verbreiteten Begriff ‹Fertigungstechnik› verstehe ich dabei als eine auf Zwischen- und Endprodukte des Maschinenbaus beschränkte Teilmenge der Stoffformung[76]. Alle relevanten

---

72 Dolezalek und Ropohl 1967a, S. 638

73 Zusammenhalt der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 in Fritz und Schulze 2006, S. 2.
1) Urformen: Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff (Zus.halt schaffen)
2) Umformen: Plastisches Ändern der Form eines festen Körpers (Zus.halt beibehalten)
3) Trennen: Formänderung eines festen Körpers durch örtliches Aufheben des Zus.halts (Zus.halt vermindern/aufheben)
4) Fügen: Zusammenbringen von Werkstücken auch mit formlosem Stoff (Zus.halt vermehren)
5) Beschichten: Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff (Zus.halt vermehren)
6) Stoffeigenschaften ändern: Ändern der Eigenschaften des Werkstoffs, z.B. durch Diffusion, chem. Reaktion, Gitterversetzungen.

74 Die später in DIN 8580 ergänzte 6. Hauptgruppe ‹Stoffeigenschaften ändern› wirft die Frage auf, inwiefern sie überhaupt zu den Fertigungsverfahren zählt. Als Oberbegriff für chemische und physikalische Vorgänge ohne formverändernde Auswirkung ist sie eigentlich eher der Verfahrenstechnik als der Fertigungstechnik zuzuordnen. Zudem lässt sich diese Hauptgruppe nicht eindeutig durch das Unterscheidungskriteriun der Systematik, den Zusammenhalt zwischen den Teilchen, beschreiben (vgl. bei Wolffgramm 1978, S. 53ff die Kritik an Kienzle und verschiedene Alternativvorschläge).
Die Frage des Teilchenzusammenhalts der 6. Hauptgruppe wird nicht einheitlich behandelt. in DIN 2003-09 Abschnitt 5.1 sowie Fritz und Schulze 2006, S. 2 ist für die 6. Hauptgruppe kein Zusammenhalt angegeben. Dubbel [et al.] 2007, S.S 3 dagegen bezeichnet für die 6. Hauptgruppe gleich drei Fomen des Zusammenhalts: Zusammenhalt beibehalten (Umlagern von Stoffteilchen), Zusammenhalt vermindern (Aussondern von Stoffteilchen) sowie Zusammenhalt vermehren (Einbringen von Stoffteilchen).

75 DIN 8580 2003-09, Absatz 3.1

76 Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 191f weisen darauf hin, dass die Stoffformung ein viel weiteres Feld umfasse als die auf die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten des Maschinenbaus eingeengte Definition der Fertigungsverfahren: «Wir verstehen unter Stoffformung im Sinne der mechanischen Technologie des 19. Jahrhunderts die formverändernde Bearbeitung nicht nur der festen Werkstoffe – Metall, Holz, Stein, Ton, Glas usw. –, sondern auch der Faserstoffe, wie Wolle, Baumwolle, Seide usw., und schliessen Vorgänge des Zerkleinerns – Mahlen, Stampfen usw. – mit ein.»

Prozesse der Holzbearbeitung sind mit den genormten Fertigungsverfahren der Fertigungstechnik abgedeckt, so dass der unterschiedliche Bedeutungsumfang der Begriffe bei den weiteren Überlegungen nicht behindert.
Mit der kartesischen Baumstruktur[77] von DIN 8580 ist eine abstrakte Hierarchie geschaffen worden, die durch ihre Normierung und zahlreichen davon wiederum abgeleiteten Normen seit Otto Kienzles Vorschlag von 1956 breite und konsistente Akzeptanz gefunden hat. Obwohl aus der Metallbearbeitung entwickelt, findet sie gleichermassen in aktuellen Standardwerken der Holztechnik Anwendung[78]. Diese Leistung gewinnt zusätzlich an Gewicht, wenn man bedenkt, dass es keine andere nationale oder internationale Norm gibt, die der ausführlichen Klassifizierung von DIN 8580 entspricht[79]. Erstaunlich ist vor allem, dass die Annahme Beckmanns aus dem Jahr 1806, den Technikbegriff in einer hierarchischen Baumstruktur aufzugliedern, zwar ständig angepasst und erweitert, seit zwei Jahrhunderten aber nie grundsätzlich in Frage gestellt wurde, während die Naturwissenschaften sich zu Beginn des 20. Jahrhundert mit einer Relativierung ihrer mechanistischen Prämissen arrangieren mussten.

2.2 Drei Systemgrössen im Fertigungsprozess

Welche Grössen eignen sich zur Beschreibung jedes Fertigungssystems, ganz gleich ob daran Maschinen oder Menschen beteiligt sind und was damit bezweckt wird?
Auf meiner Suche nach einem möglichst allgemeinen und zeitlosen Modell stiess ich in der Literatur in den verschiedensten Zusammenhängen immer wieder und oft ganz unvermutet auf die Nennung von drei Faktoren: Stoff, Energie und Information. Mit jenen drei Grundkategorien der Weltbeschreibung liesse sich jeder Fertigungsprozess erfassen, suggerierten meine Quellen, auf die ich später noch zu sprechen kommen werde. Die Begriffe sind so allgemein gefasst, dass ich darin zunächst eine jahrtausendealte Weisheit vermutete. Beim Nachforschen musste ich aber erkennen, dass dahinter unmittelbar das sich in der Aufklärung entwickelnde mechanistische Weltbild steht; der Faktor Information wird sogar erst Mitte des 20. Jahrhunderts ergänzt. Nichtsdestotrotz schien dies das geeignete Werkzeug zu sein, eine Brücke quer durch die Geschichte der Fertigungstechnik zu schlagen. Den zweiten Erzählfaden greife ich also auf bei der Erklärung von Phänomen mit den Begriffen Stoff, Energie und Information.

---

vgl. bei Wolffgramm 1978, S. 57 das System der Stoffformungsverfahren mit den fünf Verfahrenstypen Urformen – Fügen – Umformen – Trennen – Zerkleinern.

77 vgl. Descartes, Les Principes de la Philosophie, Preface, Œuvres IX b14, in Dijksterhuis 1956, S. 451

78 Wagenführ und Scholz 2008, S. 260–353

79 «…eine nationale oder internationale Norm, die der ausführlichen Klassifizierung in DIN 8580 entspricht, ist mir nicht bekannt.» schriftliche Auskunft von Jorg Zymnossek, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 15.05.2008

2.2.1 Wurzeln der Grundkategorien der Weltbeschreibung

Frühe Vorläufer des Erfassens natürlicher Phänomene mit Hilfe von Grundkategorien der Weltbeschreibung finden wir bei den vorsokratischen Naturphilosophen in Ionien an der Westküste Kleinasiens[80]. Sie dienten dort als Erklärungsmodelle der Weltentstehung, der ‹Kosmogonie›. Entsprechend den knappen fragmentarischen Überlieferungen aus dem ersten Buch von Aristoteles' Metaphysik haben sich verschiedene Philosophen darüber Gedanken gemacht, was die Bestandteile der Weltentstehung sein könnten, auf die alle anderen Stoffe zurückgeführt werden können. Bei Thales von Milet (um 624–546 v. Chr.) bildet das Wasser den Urstoff für alle Erscheinungen der Welt[81]. Anaximenes von Milet (um 585–525 v. Chr.) spricht von Luft als Grundform der Materie, aus der durch Verdickung und Verdünnung die anderen Stoffe entständen[82]. Heraklit von Ephesus (um 540–475 v. Chr.) betrachtet Feuer als eine archetypische Form der Materie und Quelle aller natürlichen Prozesse[83]. Empedokles von Akragas (494–434 v. Chr.) fasst schliesslich die zum Teil konkurrierenden Vorschläge seiner Vorgänger zusammen und benennt vier grundlegende, nicht aufeinander zurückführbare Wurzeln aller Dinge (*rhizómata*): Feuer, Erde, Luft und Wasser[84], deren Eigenschaften er durch die Zuweisung von Göttern charakterisert[85]. Platon (um 428–348 v. Chr.) beschreibt die Eigenschaften dieser vier Elemente mit geometrischen Eigenschaften, heute bekannt als

---

80 Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass etwa zur gleichen Zeit in China eine Elementenlehre (chin. wǔxíng = Fünf Wandlungsphasen) zur Naturbeschreibung entstand. Diese Fünf-Elemente-Lehre beschreibt dynamische Prozesse mit den Elementen Holz, Feuer, Erde, Metall und Wasser. Ebenso zeitparallel tritt im indischen Buddhismus eine Fünf-Elemente-Lehre auf, die , die mit den Elementen Erde, Wasser, Feuer, Luft und Leere operiert. Trotz dieser auffällien Gleichzeitigkeit konnte ich keine Hinweise darauf finden, dass ein Zusammenhang zwischen den drei Lehren besteht (vgl. auch Böhme und Böhme 1996, S. 94). Nach dem Wissensstand der verwendeten Literatur stehen die chinesiche und indische Lehre historisch nicht in Verbindung mit den hier behandelten Systemgrössen Stoff, Energie und Information.

81 Aristoteles, Metaphysik A3, 983b6, zitiert nach Kirk (et al.) 1994, S. 97f.:
«Es muss nämlich eine natürliche Substanz geben, entweder eine oder mehr als eine, woraus die anderen Dinge werden und zum Sein kommen, während sie selbst erhalten bleibt. Über die Menge und die Art des so beschaffenen Prinzips sagen freilich nicht alle dasselbe. Vielmehr erklärt Thales, der Urheber dieser Art von Philosophie, es sei das Wasser [...]»

82 Aristoteles, Metaphysik A3, 984a5, nach Kirk (et al.) 1994, S. 158f: «Anaximenes und Diogenes dagegen setzen die Luft als dem Wasser vorgeordnet und als das eigentliche Prinzip der einfachen Köper an.»
Theophrast ap. Simplikon in Phys. 24, 26, nach Kirk (et al.) 1994, S. 158f: «Anaximenes, der Sohn des Eurystratos, aus Milet, ein Gefährte (Schüler) Anaximanders, sagt wie dieser, dass die zugrundeliegende Wesenheit nur eine sei und unbegrenzt, jedoch nicht unbestimmt, wie sein Lehrer annimmt, sondern bestimmt, und er erklärt sie für Luft; durch Dünne und Dicke differenziere sie sich in die Substanzen. Durch Verfeinerung entstehe nämlich Feuer, durch Verfestigung hingegen Wind, sodann Wolken, durch noch weitere Verfestigung Wasser, dann Erde, schliesslich Steine; alle anderen Dinge entstünden aus diesen.»

83 Frgm. 30, Clemens Strom. V, 104, 2 nach Kirk (et al.) 1994, S. 216f: «Diese Weltordnung [dieselbe für alle] hat weder einer der Götter noch ein Mensch geschaffen, sondern immer war sie, ist sie und wird sie sein: ein ewiglebendiges Feuer, dass nach Massen entflammt und nach Massen verlöscht.»
Frgm. 31, Clemens Strom. V, 104, 3+5 nach Kirk (et al.) 1994, S. 216f: «Wendungen des Feuers: zuerst Meer, vom Meer aber die eine Hälfte Erde, die andere Hälfte Gluthauch [d. i. Feuer] ... (Erde) löst sich auf in Meer und wird so bemessen, dass sich dasselbe Verhältnis wie das ergibt, welches galt, bevor Erde entstand.»

84 Aristoteles Met. A4, 985a31-3, nach Kirk (et al.) 1994, S. 316.
«Ferner erklärte er als erster, die sogenannten materiellen Elemente seien vier an der Zahl.»

85 Frgm. 6, Aetius I, 3, 20, nach Kirk (et al.) 1994, S. 316:
«Denn höre zuerst die vier Wurzelgebilde aller Dinge: hell scheinender Zeus, Leben spendende Hera; [unsichtbarer] Aidoneus und [fliessende] Nestis, die mir ihren Tränen den sterblichen Quellstrom benetzt.»

‹platonische Körper›. Dem Feuer weist er den Tetraeder, der Erde den Würfel, der Luft den Oktaeder und dem Wasser den Ikosaeder zu[86]. Aristoteles (384–322 v. Chr.) hingegen charakterisiert die Elemente durch Kombinationen der sinnlichen Qualitäten trocken, feucht, warm und kalt[87]. In loser Verbindung mit den vier Elementen erscheint in den verschiedenen Adaptionen der Vier-Elemente-Lehre noch ein hypothetisches fünftes Element – der ‹Äther›, der als kosmisches Element, Licht- oder Seelenträger auftritt[88]. Die Brüder Gernot und Hartmut Böhme betonen in ihrer Kulturgeschichte der Elemente die Perspektive des beobachtenden Menschen: «Die Vier-Elementenlehre ist nicht eine Theorie der Natur als dem Ganzen als Seiendem oder des Seienden als solchen. Sie ist zwar umfassend, insofern sie immer eine Theorie unter Einschluss des Menschen ist, aber sie ist eine Theorie der Natur als des sinnlich Wahrnehmbaren.»[89]

In der Spätantike verlagerte sich das wissenschaftliche Zentrum der griechisch-römischen Welt nach Alexandrien, wo sich die Vier-Elemente-Lehre mit der ägyptischen Chemielehre zu jener naturphilosophischen Wissenschaft vereinte, die wir als ‹Alchemie› bezeichnen. Ab dem 13. Jahrhundert nahmen die Alchemie und insbesondere die Schriften des Aristoteles wegen ihres «umfassenden, synthetischen Charakters»[90] grossen Einfluss auf das westeuropäische Denken. Auf diesem Weg fusionierte Empedokles' ‹Vier-ElementeLehre› mit mythischen und magischen Vorstellungen des christlichen Weltbildes und beherrschte in dieser Form die Vorstellungen der Physik bis ins 17. und der Chemie bis ins 18. Jahrhundert[91].

Auch wenn wir es mit Begriffen der Weltbeschreibung zu tun haben, die an die Kategorien Stoff und Energie erinnern, wird schon an dem wenigen Gesagten deutlich, dass es sich dabei nicht um im heutigen Sinne rationale, sondern um naturphilosophische oder gar mythische Erklärungsmodelle handelt: Das gesamte vorindustrielle, aristotelische und hermetische Denken spricht natürlichen Prozessen ‹seelenähnliche› Eigenschaften zu und beruht im Kern auf magisch-animistischen Grundannahmen[92]. Die Suche nach Grundkategorien der Weltbeschreibung ist nicht trennbar vom Hintergrund des jeweiligen Weltbildes[93].

Die Erklärung von Phänomenen mit den rationalen Grundsätzen von Mechanik, Materie und empirischer Kausalität ist hingegen gerade einmal 400 Jahre alt. Den Begriff der Materie im heutigen Verständnis, so wie er uns im Kapitel 2.2.2 begegnen wird, hat erst René Descartes

86 Platon 1994, S. 55–57

87 beschrieben in Böhme und Böhme 1996, S. 114f

88 Böhme und Böhme 1996, Kapitel IV

89 Böhme und Böhme 1996, S. 140f

90 Dijksterhuis 1956, S. 141

91 Böhme und Böhme 1996, Kapitel VI

92 Oesterdieckhoff 2001, S. 98, S. 121

93 Mittelstrass 1989, S. 232–248 unterscheidet vier Weltbilder: «die Aristoteles-Welt, die Hermes-Welt, die Newton-Welt und die Einstein-Welt».

(1596–1650) geprägt[94]. «Indem Descartes die natürlichen Gegenstände als res extensae definiert, als ausgedehnte Dinge, werden Gestalt, Grösse, Lage und Bewegungen zu den konstitutiven Merkmalen der Gegenstände. Natur besteht nur aus Materie und diese ist immer ausgedehnt. Materie und Ausdehnung werden zu Synonymen.»[95]
Der britische Physiker Isaac Newton (1643–1727) schliesslich hatte die Vorstellung eines Universums ohne Zwecke und Absichten mit ausschliesslich materiellen Ursachen. Es ist Newtons Programm und Verdienst, den Zusammenhang zwischen Materie und Bewegung mit mathematischen Prinzipien erfassen zu wollen. Mit dem programmatischen Werk ‹Philosophiae naturalis principia mathematica› (Mathematische Prinzipien der Natuphilosophie) legte Newton 1686 das für zwei Jahrhunderte unantastbare Fundament der klassischen Mechanik. In der Rückschau des Physikers Carl Friedrich von Weizsäcker (1912–2007) sind «Materie und Energie die beiden Faktoren, mit denen die Königsdisziplinen der Naturwissenschaften Physik und Chemie im Zuge der Aufklärung ab dem 17. Jahrhundert versuchen, die natürlichen Phänomene in der Welt zu erklären: Materie war eingeführt als die Substanz, aus der die Dinge bestehen und Energie als die Substanz, die die Dinge bewegen kann.»[96] Das mechanistische Weltbild geht davon aus, dass die Welt nach mathematischer Ordnung beschaffen ist und gleich einer Maschine voraussagbar und beherrschbar wird, sobald man sie in ihre kleinsten Bestandteile aufgeteilt und die auf sie wirkenden Kräfte identifiziert hat. Ziel dieses Ansatzes war, die Welt immer weiter zu zergliedern, bis alle Bedingungen bekannt sind und es kein Phänomen mehr im Universum gibt, das nicht mit mathematischen Gesetzen eindeutig beschreibbar und damit determiniert ist. Das mechanistische Verständnis von Energie manifestiert der Energieerhaltungssatz des Arztes Julius Robert von Mayer, der Energie als Erhaltungsgrösse begreift: Die Form der Energie könne sich wandeln (wie etwa Bewegung in Wärme), die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System aber bleibe konstant. In diesem Sinn formulierte der Physiker Hermann von Helmholtz (1821–1894) im Jahr 1869: «Der Zweck der Naturwissenschaften ist es, die Bewegungen, auf denen alle anderen Veränderungen beruhen, und ihre jeweiligen Triebkräfte zu erkennen – also in Mechanik aufzulösen.»[97]
Selbstverständlich gab es auch im mechanistischen Weltbild Fragen, die man nicht beantworten konnte. Kurioserweise brachte man dazu unter anderen Prämissen erneut den hypothetischen Äther als ins Spiel, wann immer man etwas Unverstandenes erklären musste – sei es die

94 Dijksterhuis 1956, S. 451:
«Man kann den Standpunkt von Descartes nicht besser umschreiben, als indem man sagt, dass er diesen Gedanken bis zu seinen äussersten Konsequenzen durchführt, d.h. Mathematik und Naturwissenschaft faktisch identifiziert hat. Die Naturwissenschaft ist nicht nur mathematischer Art in dem weiteren Sinne, dass die Mathematik ihr in irgendeiner Form dient, sondern auch in dem viel engeren, dass der menschliche Geist das Wissen über die Natur in gleicher Weise aus sich selbst heraus erzeugt, wie er dies mit der Mathematik tut.»

95 Oesterdieckhoff 2001, S. 118

96 Weizsacker 1971, S. 343ff

97 zitiert nach Mumford 1974, S. 415

Gravitationskraft von Masse, die Reizleitung der Nerven oder die Lichtausbreitung[98]. Ende des 19. Jahrhunderts gerieten die Prämissen Newtons endgültig ins Wanken[99]. Man musste akzeptierten, dass das newton'sche Verständnis von Raum und Zeit nicht auf Naturgesetzen, sondern auf bislang in den meisten Fällen hinreichend genauen empirischen Formeln aufbaute. Newtons unumstössliche Mechanik wurde zu einem mathematischen Näherungsmodell für den Alltagsgebrauch umgewertet. Mit zunehmender Detailtiefe musste man sich mit der Erkenntnis auseinandersetzen, das Phänomene nicht allein aus Informationen über ihre Einzelkomponenten erklärbar sind. Neben die Suche nach den letzten Elementen, die nicht wiederum aus anderen zusammengesetzt sind (Atomismus) trat die Einsicht, dass es auf jeder Organisationsstufe etwas Neues gibt, dass sich durch die Elemente der niederen nicht vollständig erkären lässt (Emergentismus)[100]. Zudem waren vielfach die zu untersuchenden Objekte wegen des Grössenunterschiedes zum menschlichen Beobachter weder greifbar noch sichtbar, so dass die Wissenschaftler allein aus ihrem Verhalten Schlüsse ziehen konnten. Man gestand sich ein, die Dinge nicht mehr im Detail verstehen zu können[101] und begann stattdessen, Modelle für ihr Zusammenwirken zu entwickeln. Das Integrieren löste das Trennen als wissenschaftliche Maxime ab: «Figuratively taking machines apart to understand them was [...] the key to machine-age thinking. Synthesis is the essence of systems-age thinking.»[102]

Ludwig von Bertalanffy: Allgemeine Systemlehre

Ein solches allgemeines Modell schwebte dem österrreichischen Biologen Ludwig von Bertalanffy (1901–1972) vor, als er in den 1920er Jahren den Systembegriff in die wissenschaftliche Diskussion seines Fachgebiets einführt. Bertalanffy schreibt dazu: «Da der fundamentale Charakter eines Lebewesens in seiner Organisation liegt, kann die übliche Untersuchung von Einzelteilen und Einzelprozessen keine vollständige Erklärung der Lebensphänomene angeben. Vielmehr müssen die Gesetze lebender Systeme auf allen Niveaus der Organisation untersucht werden. Wir nennen diese Auffassung, betrachtet als Forschungsmaxime, organismische Biologie und als ein Versuch zur Erklärung, die Systemtheorie des Organismus.»[103]

98 Bohme und Bohme 1996, S. 163

99 Bryson 2004 fasst in Teil III von «A Short History of Nearly Everything» auf S. 151–234 die Relativierung der Newton'schen Prämissen zusammen. Auf S. 157 nennt er als ersten Zweifel an Newton'schen Gesetzen das Michelson-Morley-Experiment 1887, das die Bestimmung der Geschwindigkeit der Erde zum Ziel hatte und wider Erwarten im Gegensatz zu Newtons Prognose zeigte, dass die Lichtgeschwindigkeit eine von dieser unabhängige Konstante war und somit der Äther als Substanz nicht existerte.

100 vgl. Bohme und Bohme 1996, S. 91

101 Feynman 1963, Vol. 1, Section 4-1:
«It is important to realize that in physics today, we have no knowledge of what energy is.»
Heinz von Foerster 2001 im Gespräch mit Lutz von Dammbeck in dessen Dokumentarfilm ‹Das Netz› (2004):
«So behaupte ich, dass jedes Teilchen, über das wir heute in der Phyik lesen, die Antwort auf eine Frage ist, die wir nicht beantworten können.»

102 Hughes 2004, S. 78 zitiert den amerikanischen Wirtschaftsforscher Russell Ackoff (*1919)

103 Ludwig von Bertalanffy in Kurzrock, Ruprecht (Hrsg.), Systemtheorie (Forschung und Innovation Bd. 12), Berlin 1972, S. 20, zitiert nach Seising 2000, S. 280f

Da lebende Syteme für die Dauer ihrer Existenz – im Gegensatz zur unbelebten Natur – in ständigem Stoff- und Energieaustausch mit ihrer Umgebung stehen, bezeichnet Bertalanffy diese als ‹offene Systeme›, die sich in einem ‹Fliessgleichgewicht› befänden[104].
Mit diesem Modell stellte Bertalanffy – mit den bekannten Komponenten Stoff und Energie operierend – die Grenzen der klassischen, auf Gleichgewichtszuständen und geschlossenen Systemen aufbauenden Kinetik und Thermodynamik in Frage. Ende der 1940er Jahre erweiterte er seinen Ansatz als ‹Allgemeine Systemtheorie› zu einem universellen, in sämtlichen Wissenschaften anwendbaren Modell: Die «allgemeinsten Prinzipien der Wissenschaft erscheinen als die gleichen, ob es sich um unbelebte Naturdinge, um Organismen, um seelische oder gesellschaftliche Vorgänge handelt.»[105]
Kern von Bertalanffys Ansatz ist es, die Relationen zwischen Einzelphänomenen auf mikroskopischer Ebene als System zu betrachten, um Gesetzmässigkeiten für makroskopische emergente Phänomene wie Komplexität, Gleichgewicht, Rückkopplung und Selbstorganisation zu erforschen. «Die Eigenschaften und Verhaltensweisen höherer Ebenen sind nicht durch die Summation der Eigenschaften und Verhaltensweisen ihrer Bestandteile erklärbar, solange man diese isoliert betrachtet. Wenn wir jedoch das Ensemble der Bestandteile und die Relationen kennen, die zwischen ihnen bestehen, dann sind die höheren Ebenen von den Bestandteilen ableitbar.»[106] Er schlägt zu diesem Zweck vor, auf quantitative Aussagen ausgerichtete ‹metrische Systeme› der klassischen Physik durch an qualitativen Aussagen orientierte ‹relationale Systeme› zu ergänzen oder sogar zu ersetzen[107]. Beide Methoden seien in der naturwissenschaftlichen Terminologie exakt, da sie gleichermassen verifizierbar oder falsifizierbar seien.
In ihrer oft zitierten Systemdefinition beziehen sich Hall und Fagen 1956 auf diesen relationalen Systembegriff: «A system is a set of objects together with relationships between the objects and between their attributes.»[108]

---

104 Bertalanffy 1953
vgl. dazu bereits 30 Jahre früher Thomas Mann 1924, S. 368, der im ‹Zauberberg› den Hofrat Behrens sprechen lässt: «Leben ist, dass im Wechsel der Materie die Form erhalten bleibt.»

105 Bertalanffy, Ludwig von. Zu einer allgemeinen Systemlehre. in: Biologia Generalis (1949) 1, 114–129. Nachdruck in Bleicher 1972, S. 31
vgl. dazu auch Ludwig von Bertalanffy in Kurzrock, Ruprecht (Hrsg.). Systemtheorie (Forschung und Innovation Bd. 12), Berlin 1972, S. 20, zitiert nach Seising 2000, S. 280f.:
«Es gibt Modelle, Prinzipien und Gesetze, die für allgemeine Systeme oder Unterklassen von solchen gelten, unabhängig von der besonderen Art der Systeme, der Natur ihrer Komponenten und der Beziehungen oder Kräfte zwischen diesen. Wir fordern daher einen neuen Wissenschaftszweig, genannt Allgemeine Systemtheorie. Die Allgemeine Systemtheorie ist ein logisch-mathematisches Gebiet, dessen Aufgabe die Formulierung und Ableitung jener allgemeinen Prinzipien ist, die für Systeme schlechthin gelten. Auf diesem Wege sind allgemeine Formulierungen von Systemeigenschaften möglich, wie zum Beispiel Ganzheit, Summe, Differenzierung, progressive Mechanisierung, Zentralisierung, hierarchische Ordnung, Finalität und Äquifinalität und so fort; das heisst Charakteristiken, die in allen Wissenschaften vorkommen, die sich mit Systemen beschäftigen und so deren logische Homologie bedingen.»

106 Bertalanffy 1972, zitiert in Lenk und Ropohl 1978, S. 11

107 Bertalanffy [et al.] 1977, S. 22

108 Hall und Fagen 1956, S. 18

Norbert Wiener: Information als dritte Grösse

Der amerikanische Mathematiker Norbert Wiener (1894–1964) führte Bertalanffys Anspruch fort, sich Maschinen und Lebewesen mit der gleichen Methode zu nähern. Während Bertalanffy versuchte, mit Hilfe des Stoffwechsels in offenen Systemen dem Phänomen des Lebens auf die Spur zu kommen, entwickelte Wiener operationell geschlossene Systeme für den technisierten Zweiten Weltkrieg. Bertalanffy betrachtet Systeme als Biologie, Wiener als Mathematiker. Aus dem Verhalten von Netzwerken lebender Nervenzellen versucht Wiener Paradigmen für die maschinelle Informationsverarbeitung abzuleiten[109], um das Verhalten des anonymen Gegners vorhersagen zu können, einem abstrakten Punkt auf dem Radarschirm[110]. In seiner Forschungsarbeit am MIT setzte er diese ein für die Entwicklung von Rückkopplungs-Mechanismen zur Vorherbestimmung der Flugbahnen von Luftabwehrgeschossen der US Air Force sowie den von ihnen zu treffenden Flugzeugen. Obwohl Wieners Ideen während des Krieges nicht umgesetzt werden konnten, prägte seine 1948 darüber erschienene Veröffentlichung ‹Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine›[111] Namen und Programm einer neuen globalen Leitwissenschaft. Basis der Kybernetik ist die Annahme, dass das menschliche Nervensystem Realität nicht abbildet, sondern als informationsverarbeitende Maschine errechnet. Das menschliche Gehirn wird als ein System aus Schalt- und Regelkreisen, Rückkopplungsschleifen und Kommunikationsknoten betrachtet, dessen Ein- und Ausgangsgrössen berechen- und kontrollierbar sind. Trotz ihrer gegensätzlichen Zielsetzung wuchsen Bertalanffys Systemlehre und Wieners Kybernetik als ‹Allgemeine Systemtheorie› (General Systems Theory) zusammen, weil beide Systeme einen Anspruch auf Universalität mit mathematischen Darstellungen formulierten.

Das von Wiener neu eingeführte Element zur Erklärung von Prozessen ist der Kern des kybernetischen Denkmodells: die Information. «Its focus is how anything (digital, mechanical or biological) processes information, reacts to information, and changes or can be changed to better accomplish the first two tasks.»[112] Information ist eine durch Wiener «neu entdeckte Grundkategorie der Weltbeschreibung»[113], mit deren Hilfe Phänomene eingeordnet werden

109 Wiener 1956, S. 268
«Thus, there is a certain analogy between a nerve fiber and a flip-flop circuit, an electric circuit with two, and only two, states of equilibrium. This analogy is so close that, long before the message reaches the end of the fiber, it carries its information in the form of impulses rather than in the form of the strength of impulses.
Not only are nerve fibers switching devices, but they are devices which lead into other switching devices. The nerve fibers communicate with one another by junction points or junction systems known as synapses, and in these the question whether a new message is established in an outgoing fiber depends on the precise set of incoming messages received from various fibers. [...] In view of this, I was compelled to regard the nervous system in much the same light as a computing machine.»

110 Galison 2001, S. 437

111 Wiener 1948
dazu Wiener 1956, S. 322: «The only word I could think of was the Greek word for steersman, kybernetes.»

112 Kelly 1994

113 Ropohl 1971, S. 130

können, die «weder materiell noch energetisch verständlich»[114] sind. Dieses Kategorienschema postuliert, dass «alle Phänomene der Welt entweder als Materie oder als Energie oder als Information zu kennzeichnen sind»[115]. Wiener selbst gelingt in seinem Werk die knappe Formulierung: «Information is information, not matter or energy»[116]. Wenn auch Wiener sich in seiner Arbeit auf die Information konzentriert und die Begriffe Materie und Energie mit Ausnahme der obigen Abgrenzung von ihnen kaum ins Gewicht fallen, so ist er in der Rezeption zweifellos der Vater aller mit Stoff, Energie und Information operierenden Modelle.

2.2.2 Die Kategorien Stoff, Energie und Information in der deutschsprachigen Konstruktionsmethodik

Über die Kategorien eines technischen Systems ist sich die naturwissenschaftliche Fachliteratur nach Wiener bis heute einig[117]. In seiner Definitionssammlung zum Technikbegriff hält Martin Füssel 1978 fest, «dass über die Bedeutung der drei Kategorien ‹Stoff›, ‹Energie› und ‹Information› für die Analyse und Synthese technischer Systeme heute weitgehend Übereinstimmung herrscht»[118].

Ansätze zu einem Denken mit den Kategorien Stoff, Energie und Information können wir in der Technikgeschichte schon unter den Annahmen des mechanistischen Weltbilds beobachten: 1901, ein halbes Jahrhundert vor Wieners Einführung der Information als dritter Kategorie der Weltbeschreibung, versucht der Historiker und VDI-Direktor Conrad Matschoss (1871–1942) Arbeit als das «einheitliche Zusammenwirken dreier Faktoren» auszudrücken: «Kraft, Werkzeug und Intelligenz sind die Bedingung für jede nutzbringende Arbeit. Je machtvoller der Mensch diese Faktoren zu gestalten vermag, um so wirkungsvoller wird ihr Produkt, die Arbeit.» Auch wenn wir auf gewisse Weise Matschoss' ‹Kraft› als mechanische Energie, das ‹Werkzeug› als Stoff(formung) und die ‹Intelligenz› als Information lesen können, kann man Matschoss kaum die Absicht unterstellen, ein technisches System skizzieren zu wollen.

Ihm geht es um den biblischen Auftrag des Menschen, sich mit seinem Geist die Erde untertan zu machen[119]: «Um ‹Herr der Erde› werden, muss der Mensch sich immer neue Kraftquel-

114 Steinbuch 1965, S. 34

115 Ropohl 1979, S. 112

116 Wiener 1948, S. 155

117 Maier 1997, S. 13; Rodenacker 1991, S. 6 und S. 22f; Spur 1972, S. 34; Paulinyi 1990a, S. 303; Paulinyi 1999c, S. 88
«So ist das allgemeine Ziel aller technischen Handlungen abstrakt unschwer auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen: es ist die vom Menschen bewusst angestrebte, seine bestimmte Zielvorstellungen verfolgende Zustandsänderung von Stoff, Energie und Information.»

118 Füssel 1978, S. 13

119 1. Mose 1, 28

Abb. 2: Black Box mit den Ein- und Ausgangsgrössen Energie, Stoff, Signal (aus Pahl und Beitz 2007, S. 43)



len erschliessen, seine Werkzeuge vervollkommnen und seinen Verstand vertiefen»[120].
Erst Bertalanffys Vorstellung von Fliessgleichgewichten und Wieners Benennung der Information als dritter Kategorie geben den Ingenieuren ein methodisches Werkzeug in die Hand, eine universelle Beschreibung technischer Systeme zu entwickeln. Anfang der 1950er Jahre entstanden im deutschsprachigen Raum die ersten allgemeinen Konstruktionslehren[121]. Nach dem Wissenschaftshistoriker Matthias Heymann war es der Ingenieur Friedrich Hansen (1905–1991)[122], der erstmals 1963 von ‹technischen Systemen› sprach, in die ‹Eingangsgrössen› eintreten, ‹Ausgangsgrössen› resultieren und deren ‹Systemelemente› durch ‹Relationen› zueinander bestimmt wurden[123]. Die von Hansen vorgeschlagenen Begriffe prägten zunehmend das Denken der Konstruktionswissenschaftler[124], so dass sich in den 1970er Jahren an Technischen Universitäten in der Bundesrepublik Deutschland, der DDR und der Schweiz verschiedene Schulen einer ‹Methodischen Konstruktionslehre› bildeten[125], die sich allesamt zum Ziel setzten, den funktionalen Aufbau einer Maschine über eine Untersuchung der Ein- und Ausgangsgrössen methodisch und dadurch begründbar abzuleiten. Die Begriffe der Systemtheorie werden dabei kurzerhand in eine Systematik umgewertet.
Als Pionier dieser neuen Konstruktionsmethodik gilt Wolf G. Rodenacker (1906–1995)[126] mit dem 1970 erstmals erschienenen Lehrbuch ‹Methodisches Konstruieren›, der darin jedes technische Gerät als ‹Black Box› mit den Ein- und Ausgangsgrössen Energie, Stoff und Signal auffasst[127]. Auf dieser Annahme basieren ebenso 1976 die ‹Konstruktionsmethode› von Rudolf Koller (*1934)[128], die Arbeiten von Karlheinz Roth (*1919)[129] und 1977 die ‹Konstruktionslehre› von Gerhard Pahl (*1925) und Wolfgang Beitz (1935–1998)[130].

120 Matschoss 1901, S. 3ff
121 Müller 1990, S. 82
122 Kurzbiographie siehe Heymann 2005, S. 153
123 Heymann 2005, S. 269f
124 Heymann 2005, S. 275
125 vgl. Müller 1990, S. 89ff, z.B. ‹Ilmenauer Schule›, ‹Braunschweiger Schule› oder ‹Darmstädter Schule›
126 Kurzbiographie siehe Heymann 2005, S. 331
127 Rodenacker 1991, S. 22.
«Alles physikalische Geschehen in Maschinen ist an den Umsatz von Energie, Stoffen und Signalen gebunden.»
128 Koller 1976, S. 18f; Kurzbiographie siehe Heymann 2005, S. 349
129 Roth 1970, S. 453; Roth 2000, S. 81; Kurzbiographie siehe Heymann 2005, S. 338
130 Pahl und Beitz 2007

Autor	*Kontext*	*Überbegriff*	*Teilbegriffe*
Wiener 1948, S. 155	Kybernetik	–	matter, energy, information
Weizsäcker 1971, S. 360	Physik	Massgrössen	Materie, Energie, Information
Fussel 1978, S. 13	Technische Wissenschaften	Kategorien	Stoff, Energie, Information
Wolffgramm 1978, S. 34	Allgemeine Technogie	Klassen von Arbeitsgegenständen	Stoff, Energie, Information
Ropohl 1971, S. 126ff	Flexible Fertigung	Grundkategorien der Weltbeschreibung	Material, Energie, Information
Kaiser 1992, S. 421	Technikgeschichte	–	Material, Energie, Information
DIN Fachbericht 12 (1987)	Technische Systeme	Ein- und Ausgangsgrössen; Eigenschaftsgrössen zwischen Ein- und Ausgang des betrachteten Systems	Stoff, Energie, Information
Hering / Modler 2007, S. 473	Methodisches Konstruieren	Funktionsgrössen	Stoff, Energie, Information
Rodenacker 1991, S. 22	Methodisches Konstruieren	Produkte	Stoff, Energie, Signal
Pahl / Beitz 2007, S. 41ff	Methodisches Konstruieren	Grössen	Stoff, Energie, Signal
Hütte 2008, S. K9	Methodisches Konstruieren	Ein- und Ausgangsgrössen	Stoff, Energie, Signal

***Tabelle 1:** Begriffe der Grössen im Fertigungsprozess in ausgewählten Publikationen*

Philosophische Rückendeckung erhielt das Denken in den Kategorien von Materie, Energie und Information durch den Physiker Carl Friedrich von Weizsäcker[131].
Auf die Spitze getrieben wurde die Systematisierung von Technik von den Technikphilosophen Horst Wolffgramm (*1926) an der Universität Halle und Günter Ropohl (*1939) an der Universität Frankfurt, die im geteilten Deutschland der 1970er Jahre unabhängig voneinander Beckmanns Begriff der ‹Allgemeinen Technologie› auf eine ‹systemtheoretische› Basis zu stellen versuchten[132], um ein «einheitliches Begriffssystem»[133] (Wolffgramm) bzw. ein «Beschreibungsmodell der Technik» (Ropohl)[134] einzuführen. Dabei griffen beide auf die Begriffe Stoff, Energie und Information zurück, die sie unter verschiedenen Gesichtspunkten auf theoretischer Ebene mit Matrizen und Diagrammen zueinander in Beziehung zu setzen versuchten. Die zu Beginn dieses Abschnitts von Füssel zitierte Übereinstimmung über die Bedeutung der drei Kategorien muss also etwas relativiert werden. Obwohl die Information als dritte Kategorie eine amerikanische Entdeckung ist, beschränkt sich die Anwendung der drei Kategorien für die Analyse und Synthese technischer Systeme auf den deutschsprachigen Raum, in dem diese Übereinstimmung dann aber seit ihren Ursprüngen in den 1970er Jahren tatsächlich gegeben ist. Innerhalb dieses Konsens fällt auf, dass die Terminologie des Modells in den verschiedenen Quellen weitgehend, aber nicht ganz deckungsgleich ist. Sowohl die drei

131 Weizsäcker 1971, S. 342–366

132 Wolffgramm 1978; Ropohl 1979 S. 49

133 Wolffgramm 1978, S. 21

134 Ropohl 1979, S. 18

Komponenten als auch der für sie verwendete Überbegriff ist abweichend. Ich halte es für angebracht, die verschiedenen Anwendungen kurz darzustellen, voneinander abzugrenzen und jeweils eine Entscheidung zu treffen, welcher der Begriffe sich für weitere Überlegungen am besten eignet.

Teilbegriffe

Je nach Kontext und Schwerpunkt der Verfasser sind die Komponenten des Modells verschieden bezeichnet worden. In der Übersicht in Tabelle 1 lässt sich feststellen, dass in allgemeinen Darstellung oftmals von ‹Kategorien› gesprochen wird, um die Teilbegriffe durch Klassifizierung voneinander abzugrenzen. In anwendungsspezifischer Literatur wird dagegen mehrheitlich von ‹Grössen› (Ein- und Ausgangsgrössen, Eigenschaftsgrössen, Funktionsgrössen) gesprochen, um die Komponenten quantifizierbar zu machen und mit Einheiten belegen zu können. Da eine Klassifizierung eher der Absicht dieser Arbeit entspricht als eine Belegung mit physikalischen Grössen, werde ich im Weiteren von ‹Kategorien› sprechen.

Materie – Stoff – Material

Zur Beschreibung der ersten Kategorie sind die Begriffe ‹Materie›, ‹Stoff› und ‹Material› gebräuchlich. Sie haben durchaus unterschiedliche Bedeutungen und es überrascht, wie austauschbar sie in der Übersicht von Tabelle 1 erscheinen. Die Abgrenzung zwischen diesen Begriffen lässt sich anhand der Literatur nachvollziehen. So heisst es zur ‹Materie› im Sinne von Descartes: «Materie ist die Substanz der Dinge»[135] und «Materie ist alles, was Masse besitzt und physischen Raum in Anspruch nimmt.»[136] ‹Stoff› wird von Materie folgendermassen unterschieden: «Für Materie steht im technischen Bereich der Begriff Stoff mit den jeweils konkreten Eigenschaften, wie Gewicht, Farbe, Zustand usw.»[137] Stoff ist also «Materie, die durch eine Anzahl bestimmter Eigenschaften gekennzeichnet ist.»[138] Stoffe werden unterschieden in Gas, Flüssigkeit, feste Körper und Staub[139].

‹Material› ist in der Fertigungstechnik ein Sammelbegriff für Stoffe wie Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoffe, die in Produktionsprozessen zu Endprodukten weiterverarbeitet oder während deren Herstellung verbraucht werden. In diesem Zusammenhang ist der Materialbegriff deckungsgleich mit dem Begriff ‹Werkstoff›, so dass man unter Material einen Stoff in einem Produktionsprozess verstehen kann. In anderen Worten: Wird ‹Stoff› in den Kontext der Fertigungstechnik gestellt, ist die Bezeichnung ‹Material› oder ‹Werkstoff› gebräuchlich. Die Entscheidung zwischen den Begriffen ‹Stoff› und ‹Material› ist also weniger eine Frage des

---

135 Weizsacker 1971, S. 346

136 Ropohl 1979, S. 112

137 Pahl und Beitz 2007, S. 42, vgl. auch Rodenacker 1991, S. 22

138 Rodenacker 1991, S. 307 (Glossar)

139 Pahl und Beitz 2007, S. 43

Inhalts als des Kontexts. Da die meisten der in Tabelle 1 aufgelisteten Autoren den Stoffbegriff gebrauchen, werde ich ihn in den Überlegungen in diesem allgemeinen Kapitel ebenso verwenden. Weil aber in den folgenden Kapiteln die Rede von der Produktion architektonischer Bauteile ist, werde ich mir erlauben, in diesem Zusammenhang synonym den Material- und Werkstoffbegriff einzusetzen.

Energie

Für den Begriff ‹Energie› scheint es keine Alternativen zu geben. Dennoch soll er kurz definiert werden: Energie ist aus physikalischer Sicht beschrieben als «das Vermögen, Materie zu bewegen»[140] oder oft auch als «das Vermögen, Arbeit zu verrichten»[141]. Wir können in mechanische (Kraft), thermische (Wärme), elektrische (Strom), chemische, optische Energie sowie Kernenergie unterscheiden[142]. In einem Fertigungssystem wird Energie für die Stoffformung benötigt, beispielsweise zum Umformen oder zum Zerspanen. Dabei findet eine Zustandsänderung statt: Der Umsatz von Energie beispielsweise in einer Werkzeugmaschine kann die Wandlung elektrischer in mechanische und thermische Energie betreffen; die chemische Energie eines Verbrennungsmotors wird ebenfalls in mechanische und thermische Energie umgewandelt.

Information – Signal

Für die dritte Systemgrösse gibt es zwei Alternativen: Sie wird in den verschiedenen Darstellungen zum Teil als Information, zum Teil als Signal bezeichnet. Die Literatur ist sich bei der Abgrenzung der beiden Begriffe wiederum einig: «In jeder Anlage sind Informationen zu verarbeiten. Dies geschieht mittels Signalen.»[143] Ein Signal «dient der Darstellung von Informationen. Die Darstellung erfolgt durch den Wert oder Werteverlauf einer physikalischen Grösse»[144] und ist somit «die physikalische Realisierung einer Informationsübertragung»[145]. Umgekehrt ist die Information durch ihre Beschreibbarkeit mittels Signalen definiert: Eine Information ist «jede Kenntnis über Tatsachen, Ereignisse oder Abläufe, die durch Signale übermittelt werden kann.»[146] Unter Signal können wir demnach eine mit physikalischen Mitteln formalisierte Information verstehen; unter Information eine mittels Signalen übertragene Nachricht. Dies heisst aber keineswegs, dass ein Signal immer elektrisch ist bzw. dass in

---

140 Weizsacker 1971, S. 344

141 Rodenacker 1991, S. 305 (Glossar), Ropohl 1971, S. 129, Ropohl 1979, S. 112

142 Pahl und Beitz 2007, S. 43

143 Pahl und Beitz 2007, S. 42

144 Rodenacker 1991, S. 307 (Glossar), nach DIN 19226 Regelungstechnik

145 Hutte 2008, S. K8; vgl. auch Pahl und Beitz 2007, S. 42:
«Auch der allgemeine Begriff der Information erhält im technischen Bereich eine konkrete Bedeutung durch Signal als physikalische Form des Trägers einer Information.»

146 Rodenacker 1991, S. 305 (Glossar), nach Klaus und Liebscher 1976

handwerklichen und mechanisierten Fertigungssystemen[147] keine Signale eingesetzt worden wären, wenn auch die Quantitäten in der elektrischen Informationsübermittlung drastisch zugenommen haben. Das Signal ist die Methode, die Information der Inhalt. Da aber Signale nicht notwendigerweise eine (für den Empfänger lesbare) Information übertragen, Information jedoch immer durch Signale übermittelt wird, scheint mir der Informationsbegriff der wesentlichere zu sein. Nicht zuletzt ist aber auch ausschlaggebend, dass der Grossteil der Autoren in Tabelle 1 sich für den Informationsbegriff entschieden hat.

2.2.3 Fertigung als System: Verschiedene Konzepte

Günter Ropohl definiert 1971 «allgemein eine Maschine, auch eine Fertigungsmaschine, als ein künstliches, zweckorientiertes System, dessen Funktion es ist, Stoff-, Energie- und Informationsflüsse in einer vorgegebenen, aufgabenentsprechenden Art und Weise miteinander zu verknüpfen.»[148] Er führt aus: «Ein Fertigungssystem ist eine Menge von technischen Einrichtungen und zugleich die Menge der zwischen diesen technischen Einrichtungen bestehenden Relationen, die als Ganze eine Fertigungsaufgabe bzw. einen Bereich von Fertigungsaufgaben zu bewältigen in der Lage ist, indem Material- und Informationsflüsse mit Hilfe von Energieflüssen derart transformiert werden, dass dem Material Informationen aufgeprägt werden.»[149] Ropohl beschreibt hier also ein System im Sinne Bertalanffys: Ein Fertigungssystem besteht aus technischen Einrichtungen (den Elementen) sowie den Relationen zwischen diesen Elementen. Das zu beobachtende Gesamtverhalten des Systems ist die Transformation von Stoff- und Informationsflüssen mit Hilfe von Energieflüssen (den Eingabeoperanden). Das Reaktionsprodukt ist Material, dem Information aufgeprägt wird. Das Gesamtverhalten eines fertigungstechnischen Systems ist also das Aufprägen von Information auf Material durch den Einsatz von Energie, wobei es zu einer Verschmelzung der Eingabeoperanden kommt. Der Technikhistoriker Walter Kaiser betont in diesem Prozess die Rolle der Information: «In einem tieferliegenden Sinn dominiert dabei die Informationsverarbeitung; denn die geometrische Information der Konstruktion wird zunächst in einem Fertigungsprogramm verschlüsselt und schliesslich von Maschine, Werkzeug und Fördereinrichtung unter Aufwand von Material und Energie in einen materiellen Träger von Information, eben in das Werkstück, überführt.»[150] Wenn ich nun wiederum das Gesamtverhalten eines fertigungstechnischen Systems mit Formgebung gleichsetzen (was wir nach Kapitel 2.1 als legitim bezeichnen dürfen), erhalte ich die Aussage:

147 zur Begriffsverwendung des handwerklichen und mechanisierten Fertigungssystems vgl. Spur 1972, S. 29f

148 Ropohl 1971, S. 126

149 Ropohl 1971, S. 139, vgl. auch Ropohl 1971, S. 183, Ropohl 1991, S. 334 und Ropohl 1998, S. 123

150 Kaiser 1992, S. 420f

Abb. 3: Das Gesamtverhalten jedes fertigungstechnischen Systems ist das Aufprägen von Information auf einen Werkstoff durch den Einsatz von Energie.

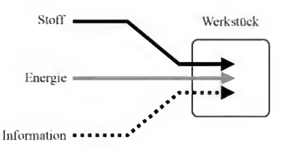
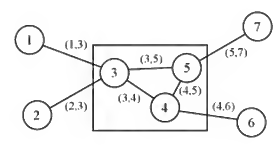
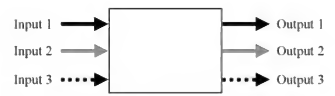


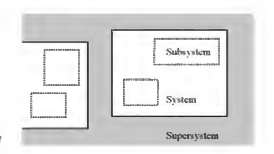
Abb. 4: Darstellung verschiedener Systemkonzepte auf der Grundlage von Ropohl 1979, S. 55, Spur 1972 S. 21; und davon abgeleitet Pahl und Beitz 2007, S. 43



Strukturales Konzept



Funktionales Konzept



Hierarchisches Konzept

Formgebung ist das Aufprägen von Information
auf einen Werkstoff durch Einsatz von Energie.

Oder: Ein Werkstück ist ein Werkstoff,
dem durch den Einsatz von Energie Information aufgeprägt wird.

Den Bezug zwischen Form und Information lässt sich etymologisch bestätigen:
Das Wort ‹Information› selbst, das von der klassischen Philosophie übernommen wurde, bezeichnete eigentlich die Tätigkeit der Formgebung[151]. Carl Friedrich von Weizsäcker greift die usprüngliche Bedeutung auf, indem er die Information an die Form bindet: «Man kann die Information als ein Mass der Menge von Form bezeichnen.»[152] In ‹Methodisches Konstruktieren› formuliert Wolf G. Rodenacker mit anderen Worten: «Materie und Form sind immer miteinander verknüpft. Form bedeutet Information oder Menge der Alternativen»[153].
Die Literatur der Konstruktionsmethodik differenziert in den 1970er Jahren für ihren Bereich drei unterschiedliche Schwerpunkte[154]: nämlich ein ‹strukturales›, ein ‹funktionales› und ein ‹hierarchisches› Systemkonzept, die jeweils verschiedene Aspekte eines Systems hervorheben. Die Anwendungen in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen können sich deutlich voneinander unterscheiden, da oft nur einer der Aspekte dargestellt wird, obwohl der Systembegriff alle drei Systeme umfasst.

Strukturales Konzept oder: Die Relationen im Fertigungssystem
Das strukturale Systemkonzept entspricht dem Ansatz, die Struktur eines Systems durch die Relationen zwischen seinen Elementen darzustellen. Die eingekreisten Zahlen in Abbildung 4 symbolisieren Elemente, die Verbindungen dazwischen die Relationen. Sollen die Elemente 3, 4 und 5 zu einem System zusammengefasst werden, stellen die Relationen (1,3) und (2,3) Eingabeoperanden und die Relationen (4,6) und (5,7) Ausgabeoperanden dar.

---

151 Duden Etymologie 2001, S.363.
«Informieren ‹benachrichtigen, Auskunft geben, belehren›: Das Verb wurde im 15. Jh. aus lat. i n - f o r m a r e entlehnt, und zwar in dessen übertragener Bedeutung ‹durch Unterweisung bilden, unterrichten›, eigentlich ‹eine Gestalt geben, formen bilden› (zu in..., In... und lat. forma «Gebilde, Gepräge, Gestalt» (vgl. Form)).»
vgl. auch Couffignal 1958, S. 11; Drechsler und Weibel 1992

152 Weizsacker 1971, S. 347
Dazu auch Weizsäcker 1971, S. 342f zum Zusammenhang von Form und Materie:
«Materie ist historisch zunächst der Gegenbegriff zu Form. Ein Schrank, ein Baum ist aus Holz. Holz ist seine Materie. Aus diesem Beispiel ist sogar der Name des Begriffs Materie genommen: materia = hyle heisst Holz. Der Schrank ist aber nicht einfach Holz, sondern ein hölzerner Schrank. Schrank ist das, was er eigentlich ist; Schrank ist sein Eidos, sein Wesen, seine Form. Ein Schrank aber muss aus etwas sein, ein Schrank ohne Materie ist nur ein von der Wirklichkeit abgezogener Gedanke, er ist ein Abstraktum. Dieser Schrank aus Holz hingegen ist ein wirkliches Ganzes aus Form und Materie, ein Synholon; Form und Materie sind in ihm ‹zusammengewachsen›, er ist ein Konkretum. Es gibt also im Bereich des Konkreten keine Form ohne Materie. Ebensowenig gibt es Materie ohne Form.»

153 Rodenacker 1991, S. 22

154 Spur 1972, S. 19ff und Ropohl 1979, S. 54ff

Betrachten wir in einem Fertigungssystem den strukturalen Aspekt unseres Modells, dann fokussieren wir die Relationen zwischen den Strömen Stoff, Energie und Information.

Funktionales Konzept oder: Der Umsatz in der Black Box

Das funktionale Konzept ist eine Vereinfachung des strukturalen Konzepts, bei der komplexe oder für eine Untersuchung unwesentliche Faktoren eines Systems als behavioristische «Black Box»[155] zusammengefasst und ausgeblendet werden[156]. Eine Black Box ist gekennzeichnet durch ihre Eingangsgrössen (Inputs) und Ausgangsgrössen (Outputs). Der funktionale Systemaspekt «behandelt nicht Dinge, sondern Verhaltensweisen» und «fragt nicht ‹Was ist dieses Ding?›, sondern ‹Was tut es?›»[157]. Er vernachlässigt «die essentialistische Frage nach dem Wesen der Sache zugunsten der operationalistischen Frage nach ihrem Verhalten»[158].
Die Übertragung der ‹Black Box› (nach Rophohl ‹funktionales Konzept[159]›) in die Fertigungstechnik geht auf Wolf G. Rodenackers ‹Konstruktionslehre› von 1970 zurück. «Es soll die allgemeinste Konstruktionsaufgabe lösbar werden, nämlich noch unbekannte Maschinenelemente und Maschinen festzulegen, die abstrakten Forderungen verbunden mit dem Umsatz von Energie, Stoff oder Signalen genügen.»[160] Rodenacker definiert über den jeweiligen Hauptumsatz im funktionalen System die Gliederung des Technikbegriffs in drei Teilgebiete (vgl. Kapitel 2.1.1)[161]:

— «die Fertigungs- und Verfahrenstechnik oder die Technik des Stoffumsatzes,
— die Bewegungs- und Kraftmaschinentechnik oder die Technik des Energieumsatzes und
— die Steuer- und Regelungstechnik oder die Technik des Signalumsatzes.»

Hierarchisches Konzept oder: Die Kompatibilität der Systeme

Das hierarchische System untersucht Elemente eines Systems wiederum als Systeme (Subsysteme oder Untersysteme), das System selbst als Teil eines umfassenderen Systems (Supersystem oder Übersystem). Jedes Teilsystem kann wiederum als System für sich betrachtet werden. Der Ingenieurwissenschaftler Günter Spur hat den hierarchischen Ansatz 1967 aufgegriffen, indem er das Fertigungssystem Werkzeugmaschine in sieben Untersysteme gliedert: das Werkstücksystem, das Werkzeugsystem, das geometrische System, das kinemati-

155 Eingeführt wurde der Begriff der Black Box als Werkzeug der Kybernetik nach Beer 1959, S. 67ff in: Bowman, John R. Reduction of the Number of Possible Boolean Functions, in: Transactions of Ninth American Conference on Cybernetics. New York : Macy Jr. Foundation, 1953

156 Spur 1972, S. 21

157 Ashby 1974, S. 15

158 Ropohl 1979, S. 55

159 Ropohl 1979, S. 55

160 Rodenacker 1991, S. 6

161 Rodenacker 1991, S. 6, vgl. dazu DIN Fachbericht 12 (1987), S. 5 :
«Eine Veränderung wird als Umsatz bezeichnet, wobei dabei entweder der Energie-, Stoff- oder Signalumsatz dominiert. Dieser wird als Hauptumsatz, die anderen – sofern sie beteiligt sind – als Nebenumsatz identifiziert.»

sche System, das Energiesystem, das Informationssystem und das Teilesystem. Dabei stellt er jedes System mit eigenen «Bestimmungsparametern» dar, die die Kompatibilität der Systeme in Frage stellen[162]. Günter Ropohl unterscheidet ebenfalls 1967 in einem Fertigungssystem sechs Teilfunktionen: Arbeitsgruppe, Antriebsgruppe, Bewegungsgruppe, Steuergruppe, Mess- und Prüfgruppe und Werkstückhandhabungsgruppe[163]. Aus diesen sechs Teilfunktionen leitet Ropohl sechs Stufen der Technisierung ab, die uns im Kapitel 2.3 beschäftigen werden. Als hierarchisches System können wir aber auch DIN 8580 Fertigungsverfahren begreifen, die Kienzle 1956 vorgeschlagen hatte.

2.2.4 Systemdenken und Architektur

Systemdenken am Bau ist ein Thema, das so alt ist wie die Architektur selbst, da praktisch jeder Hochbau aus einem System von Einzelteilen besteht. Theoretisch erfasst wurde dieses Thema ab dem 19. Jahrhundert mit dem Anspruch, Gebäude entsprechend dem mechanistischen Weltbild in ihre Einzelteile aufzugliedern und aus diesen Baukastensysteme zu bilden. Fixpunkte dieses Ansatzes (und gewissermassen auch sein Rahmen) sind der Crystal Palace auf der Londonder Weltausstellung 1851 sowie die amerikanischen Arbeiten Konrad Wachsmanns, die Gebäude aus der fertigungstechnischen Lösung universeller Verbindungsdetails

---

162 Spur 1967, S. 412f (vgl. auch Spur 1972 S. 37 mit fünf Untersystemen; ohne geometrisches System und Teilesystem):

1. Das W e r k s t ü c k s y s t e m umfasst ausser dem Werkstück auch die Bauteile, die für die Spannung des Werkstücks notwendig sind. Der Zustand oder auch der fertigungstechnische Kennwert des Werkstücksystems wird durch die folgenden Bestimmungsparameter beschrieben: Werkstoffeigenschaften, Werkstückgeometrie, Fertigungsmenge, Werkstückspannung, Anzahl der Werkstückträger, Anordnung der Werkstückträger
2. Das W e r k z e u g s y s t e m umfasst ausser dem Werkzeug auch die Bauteile, die für die Spannung des Werkzeuges notwendig sind. Der Zustand des Werkzeugsystems wird durch die folgenden Bestimmungsparameter beschrieben: Schneidstoffeigenschaften, Werkzeuggeometrie, Werkzeugspannung, Anzahl der Werkzeugträger, Anordnung der Werkzeugträger.
3. Das g e o m e t r i s c h e S y s t e m umfasst die gesamten geometrischen Beziehungen innerhalb der Werkzeugmaschine mit Ausnahme der Werkstücke und der Werkzeuge. Die entsprechenden Bestimmungsparameter sind: Gestalt und Abmessungen des Arbeitsraumes, Gestalt und Abmessungen der Bauteile, Gestalt und Abmessungen der Baugruppen, Gestalt und Abmessungen der Gesamtmaschine
4. Das k i n e m a t i s c h e S y s t e m umfasst alle Maschinenbauteile, die die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug sowie gegebenenfalls andere Hilfsbewegungen bewerkstelligen. Der Zustand des kinematischen Systems wird durch die folgenden Bestimmungsparameter beschrieben: Einstellgrössen für Wegstrecken und Geschwindigkeiten, Einstellbereiche für Wegstrecken und Geschwindigkeiten, zeitliche Änderung der Bewegungsabläufe, Lagezuordnung zwischen Werkstück und Werkzeug
5. Das E n e r g i e s y s t e m umfasst die Bauteile der Maschine, in denen Energie transformiert wird. Bestimmungsparameter für den Zustand des Energiesystems sind: Antriebsleistung, Wirkungsgrad, Ausnutzungsgrad
6. Das I n f o r m a t i o n s s y s t e m umfasst die Baugruppen der Maschine, die einen programmierten Ablauf der Fertigungsvorgänge bewirken. Bestimmungsparameter für das Informationssystem sind: Informationserstellung, Informationsspeicherung, Informationsverarbeitung.
7. Das T e i l e s y s t e m umfasst – ebenso wie das geometrische System – die gesamte Werkzeugmaschine mit Ausnahme des Wirkpaares Werkzeug-Werkstück. Es handelt sich hier um die stoffliche und organisatorische Verwirklichung der vorliegenden Konstruktion. Als Bestimmungsparameter sind zu nennen: Werkstoff der Bauteile, Art der Bauteile. Die Art der Bauteile ist unter einem organisatorischen Gesichtspunkt zu verstehen. Dieser Bestimmungsparameter gliedert die Bauteile etwa in Normteile, Wiederholteile, Ähnlichkeitsteile und Einzelteile

163 Dolezalek und Ropohl 1967b, S. 715f

(den ‹Knotenpunkten›) ableiten[164].
Im Zuge der Kybernetik als Leitwissenschaft entstand in den 1960er Jahren in Anlehnung an andere Disziplinen eine breite Diskussion über Planungs- und Entwurfsmethoden[165] – das architektonische Pendant zur Methodischen Konstruktionslehre im Maschinenbau. Exemplarisch ist die Arbeit Christopher Alexanders, der mit einer ‹Pattern Language› soziokulturelle Phänomene in elementare Teillösungen (‹Patterns›) auf verschiedenen hierarchischen Ebenen zu gliedern versuchte[166]. Im Gegensatz zu den baumartigen, geschlossenen Baukastensystemen Wachsmanns gibt es hier eine Auswahl von Musterlösungen auf verschiedenen Entwurfsebenen, die durch Querverweise netzartig miteinander verknüpft sind und durch die Möglichkeit des Ergänzens, Ablehnens oder Ersetzens von Patterns als offenes System verstanden werden können. Die Herausforderung für den Anwender der ‹Pattern Language› liegt dabei in der Auswahl und Kombination dieser Patterns. Alexanders Konzept zeigte sich in der Architekturpraxis als kaum umsetzbar, erlebte aber in seiner Übertragung auf die Informatik ab Mitte der 1990er Jahre eine «aussergewöhnliche Renaissance»[167], da sich venetzte Problemlösungsmuster als erfolgreiches Muster zur Lösung komplexer Softwareprobleme erwiesen.
Was jedoch bis heute nicht Eingang in die Architekturdiskussion fand, ist die Vorstellung eines Systems aus den drei Kategorien der Weltbeschreibung Stoff, Energie und Information in der technischen Umsetzung von Architektur, obwohl die Bauproduktion zweifellos ein Teilbereich der Fertigungstechnik ist. Da dies aber mein Fokus sein soll, will ich den Umgang mit dem Systembegriff in architektonischen Planungs- und Entwurfsmethoden in dieser Arbeit nicht weiter zu vertiefen. Dass sich das Kategorien-Schema durchaus für die Baukproduktion eignet, zeigt Rodenacker, der zur einführenden Erläuterung des Methodischen Konstruierens den Bau eines Hauses als Beispiel wählt[168].

2.2.5 Systemdenken in der Kritik

Die Begriffe der Systemtheorie und Kybernetik wurden seit den 1950er Jahren auf die verschiedensten wissenschaftlichen Disziplinen übertragen, darunter neben der Biologie beispielsweise die Managementlehre[169] und mit grosser Eigenständigkeit auf die Sozialwissenschaften[170]. Diese Universalität wurde zunächst weithin begrüsst, da sich dieser Ansatz

164 Wachsmann 1959
165 Schill-Fendl 2004, S. 13ff
166 Alexander [et al.] 1977
167 Kühn 2008
168 Rodenacker 1991, S. 32f
169 Beer 1959
170 Parsons und Smelster 1957, Luhmann 1984

parallel zu einer wachsenden Spezialisierung der technischen Disziplinen als Plattform gemeinsamer Modellvorstellungen und Denkmethoden anbot[171]. Gleichzeitig tendierten aber die Disziplinen dazu, ihr ganz eigenes Verständnis von Systemdenken zu entwickeln, so dass von Universalität im Sinne von Kompatibilität nicht die Rede sein konnte. Zudem öffnete dessen Unverbindlichkeit ein weites Feld für heterogene, zur Selbstdarstellung der Autoren tendierende Interpretationen[172].

Im Fortschrittsglauben der ersten Hälfte der 1960er Jahre erreichten die verschiedenen Vorstellungen von Systemtheorie und Kybernetik den Zenit ihrer Wirkung. Sie beeinflussten in den USA die praktische Organisation der Bildungspolitik sowie der Budgetplanung bis hin zu Simulationen des Rüstungswettlaufs[173].

In den 1970er Jahren geriet die Kybernetik als globale Leitwissenschaft in die Kritik. Erstens zerbrach der bedingungslose Glaube an gesellschaftlichen Fortschritt durch wissenschaftliche Vernunft an den ökonomischen und politischen Erschütterungen in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre[174]. Zweitens mussten sich viele Ansätze dem Vorwurf aussetzen, «dass die Resultate ihrer Forschungen – anders als ihr Name verspricht – nicht in schlüssiger Form greifbar sind und nur wenig über eine Sammlung programmatischer Verlautbarungen und instruktiver Expositionen hinausgekommen sind»[175]. Der französische Mathematiker René Thom (1932–2002), der als Urheber der Katastrophentheorie selbst einen Beitrag geleistet hatte, bringt 1983 die Kritik auf den Punkt: «General systems theory is devoted essentially to the activity of defining what a system is – and gets hardly beyond it»[176].

Unterdessen begann sich ein Neuansatz des Systemdenkens auf der Grundlage der ‹autopoetischen Systeme› der chilenischen Neurobiologen Humberto Maturana (*1928) und Francisco Varela (1946–2001)[177] und der ‹Dissipativen Strukturen› des russisch-belgischen Chemikers Ilya Prigogine (1917–2003) zu formieren, der sich wieder auf ‹das Leben› als Kern von Ber-

171 Dolezalek und Ropohl 1967a, S. 636f

172 Foerster 1974 interpretiert diese autorenbezogenen Theorien ‹second order cybernetics› oder ‹cybernetics of cybernetics› und wird so zum Pionier der konstruktivistischen Weltsicht, nach der Wirklichkeit nicht naturgegeben, sondern vom Menschen konstruiert wird. Jede Aussage, die in der 2. Ordnung gemacht werden, ist eine Aussage über den Beobachter als Teil des Systems.
Skyttner 2005, S. 110ff hat eine Übersicht von sechzehn autorenbezogenen Systemtheorien zusammengestellt

173 Hughes 2004, S. 77ff; Müller 1996a, S. 311

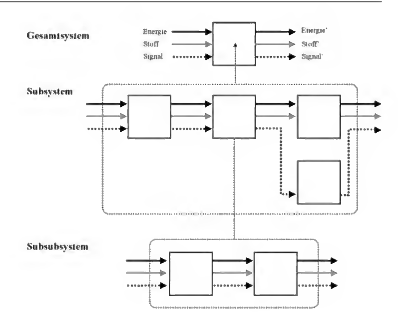
174 Merton und Gaston 1977, S. 112:
«By the 1960s and 1970s, public concern with science as the seeming source of social problems had become greatly enlarged, differentiated and intensified. Development in the social, political, economic, ecological, and technological contexts of science and in the scientific disciplines themselves led science to become increasingly problematical. Anti-science ideologies and movements emerged, in mirrorlike reversal of popular image (of science as the unquestionable fount of all things good: providing the true exemplar of authentic knowledge) ready to find science the unquestionable fount of all things evil.»

175 Müller 1996a, S. 4

176 Thom 1983, S. 85
René Thom (1923–2002) entwickelte Ende der 1960er Jahre die mathematische Katastrophentheorie, die sich mit unsteten und sprunghaften Veränderungen von dynamischen Systemen durch kleine Veränderungen auseinandersetzte. Die Katastrophentheorie ist ein früher Beitrag zur Chaos-Forschung

177 Maturana 1985

Abb. 5: Verknüpfung des funktionalen Konzepts mit dem hierarchischen Konzept (frei nach Pahl und Beitz 2007, S. 45)



talanffys biologischem Systemverständnis rückbesann und den Begriff der Selbstorganisation in den Mittelpunkt seines Selbstverständnisses stellte. Von der Fertigungstechnik wurde dieser Pfad jedoch nicht verfolgt. Oder lag es nicht im Bereich der Möglichkeiten, ihn zu verfolgen?

2.2.6 Der Sonderweg der Fertigungstechnik

Während in den 1970er Jahren viele Disziplinen mit Systemtheorie und Kybernetik vorübergehend Schiffbruch erlitten, wurde die Kritik am Systemdenken in der Konstruktionsmethodik (und damit auch in der Fertigungstechnik) weniger an der eigenen Disziplin vollzogen, sondern vielmehr an der die Art und Weise, wie sie in der soziologischen Systemtheorie gedeutet werde[178]. Dabei ist es keineswegs so, dass die systematische Konstruktionsmethodik selbst über Matrizen und Diagrammen hinaus etwa mit konkreten Beispielen oder Resultaten aufwarten könnte. Nichtsdestotrotz hielt man unbeirrt an den Annahmen fest. In den späten 1980er Jahren formierte sich in den angelsächsischen Ländern und Japan sogar eine Methodikforschung, die Anstösse aus der deutschsprachigen Methodikbewegung der 1970er Jahre aufnahm[179]. Die jüngere europäische Generation von Konstruktionswissenschaftlern ist sich zwar einer Stagnation bewusst[180] und zeigt sich methodenskeptisch in Anbetracht ihrer Starr-

178 Ropohl 1979, S 85
«Es hat den Anschein als verdanke Habermas seine Kenntnisse der kybernetischen Systemtheorie fast durchweg den eigenwilligen Umdeutungen Luhmanns, und es soll uns nicht weiter stören, wenn zwei Blinde über Farbe streiten.»
Ropohl 1979, S. 49 beschuldigt Jürgen Habermas und Niklas Luhmann dennoch, dass solch «systemtheoretischer Dilettantismus» auf «ärgerliche Weise erheblich die Reputation der seriösen Systemtheorie in der wissenschaftlichen Öffentlichkeit» belaste».

179 Heymann 2005, S 482

180 Heymann 2005, S. 483f

heit[181], bietet aber bislang keine greifbare Alternative.
Bis heute ist Rodenackers Black-Box-Modell mit den Strömen von Stoff, Energie und Information in den deutschsprachigen Ingenieurwissenschaften omnipräsent: Es ist nicht nur fester Bestandteil von Begriffvereinbarungen des DIN-Instituts und des Verein Deutscher Ingenieure VDI[182], sondern auch von aktuellen Auflagen international anerkannter Standardwerke der Konstruktionslehre[183], des allgemeinen Ingenieurwesens[184], des Maschinenbaus[185] und – mit erweiterten Begriffen – der Mechatronik[186]. Dies betrifft gleichermassen den Fokus dieser Arbeit, die spanende Stoffgestaltung in der Holzbearbeitung[187]. Noch im Jahr 2001 wurde die ‹Konstruktionslehre› von Pahl und Beitz in einer Umfrage unter deutschsprachigen Fachvertretern der Konstruktionswissenschaft zum besten Lehrwerk der Disziplin gewählt[188]. Dort sieht man das oben vorgestellte funktionale Konzept mit dem hierarchischen Konzept gekoppelt, indem eine Gesamtfunktion mit Energie-, Stoff- Signalumsatz in ein hierarchisches System aus Teilfunktionen mit jeweiligem Energie-, Stoff- und Signalumsatz aufgliedert wird (Abb. 5)[189].
Gleichermassen ist Beckmanns Begriff der ‹Allgemeinen Technologie›, in der Art und Weise wie ihn Ropohl und Wolffgramm Ende der 1970er Jahren auf ‹systemtheoretischer› Basis reaktivierten, Gegenstand einer Reihe jüngerer akademischer Veröffentlichungen im deutschsprachigen Raum[190], denen allerdings nicht die gleiche Verbreitung und damit auch fertigungstechnische Relevanz der obigen Standardwerke zuteil werden dürfte.

---

181 Heymann 2005, S. 478

182 DIN V 19233 (Leittechnik - Prozessautomatisierung - Automatisierung mit Prozessrechensystemen. Begriffe) 1.7: «Ein Prozess ist eine Gesamtheit von aufeinander wirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder auch Information umgeformt, transportiert oder auch gespeichert wird.»
vgl. DIN Fachbericht 12 (1987) ‹Einteilungsschema für technische Systeme · Anlagen, Apparate, Maschinen, Geräte und vergleichbare funktionsfähige Gebilde›

183 Müller 1990, S. 6f; Roth 2000, S. 81; Ehrlenspiel 2007, S. 20ff und S. 31; Pahl und Beitz 2007, S. 41ff

184 Hering und Modler 2007, S. 473 ; Hütte 2008, S. K8ff

185 Niemann [et al.] 2005, S. 10; Dubbel [et al.] 2007, S. F1ff

186 Der Mechatronik-Wissenschaftler Rolf Isermann beschränkt den Black Box-Begriff ausschliesslich auf Modelle, die aus Messungen der Ein- und Ausgangsgrössen ermittelt werden (experimentelle Modellbildung). Theoretische Modelle, wie sie in der Konstruktionslehre eingesetzt werden, bezeichnet er als White Box Modell. Zwischen Black und White Box identifiziert Isermann je nach Verhältnis von theoretischer zu experimenteller Information zwei ‹hell- und dunkelgraue› Zwischenstufen. Dazu Isermann 2008 S. 49f:
- White-box models: theoretische quantitative Modelle (bekannt: physikalische Gesetze und Parameter)
- Brightgrey-box models: quantitative Modelle mit Experimenten (bekannt: physikalische Gesetze, unbekannt: Parameter / Ein- und Ausgangsgrössen messbar)
- Darkgrey-box models: qualitative Modelle mit Experimenten (bekannt; physikalische Abhängigkeiten wenn-dann, unbekannt: Abhängigkeitsstruktur / Ein- und Ausgangsgrössen messbar)
- Black-box models: experimentelle, quantitative Modelle (Ein- und Ausgangsgrössen messbar)

vgl. zum funktionalen Systemkonzept in der Mechatronik auch Bolton 2004, S. 20f

187 Maier 1993, S. 34; Maier 1997, S. 13f

188 Heymann 2005, S. 485

189 Pahl und Beitz 2007, S. 44f, ebenso Ehrlenspiel 2007, S. 22

190 Holzl 1984; Muller und Troitzsch 1992; Banse 1997; Spur 1998; Banse und Reher 2002; Banse, Meier und Wolffgramm 2002; Hartmann und Theuerkauf 2008

2.3 Technikgeschichtliche Periodisierungsmodelle

Mit dem ersten Erzählfaden habe ich den Rahmen der Untersuchung abgesteckt, nämlich die Fertigungstechnik. Der zweite Erzählfaden hat uns mit den Kategorien Stoff, Energie und Information die Mittel für eine allgemeine Beschreibung von Fertigungsprozessen in die Hand gegeben. Mit dem dritten Erzählfaden will ich nun aufspüren, wo und nach welchen Kriterien innerhalb der Technikgeschichte Periodisierungen auf der Grundlage systematischer Modelle vorgenommen werden können.

2.3.1 Einführung in die Periodisierung

Geschichte bezeichnet alles, was geschehen ist. Geschichtsschreibung dagegen ist immer eine Auswahl des Geschehenen, da es kein Medium gibt, sämtliche Ereignisse der Vergangenheit aufzuzeichnen. Was aber nirgends aufgezeichnet ist, ist für immer verloren. Im Moment der Aufzeichnung auf Papier, Magnetbändern oder anderen Informationsträgern beginnt bereits eine bewusste oder unbewusste Auswahl, welche Begriffe, Bildausschnitte o.ä. zur Beschreibung gewählt werden. Welches Ereignis ausgewählt wird, wie es beschrieben wird und welche Bedeutung ihm beigemessen wird, hängt unmittelbar mit dem Bezugsrahmen der Person oder der durch sie vertretenen Institution zusammen, die diese Geschichte schreibt[191]. Geschichtsschreibung ist also immer Deutung, so unvoreingenommen und absichtsfrei ihr Verfasser auch an die Sache heranzugehen versucht. Dies beginnt beim Tagesjournalismus und setzt sich immer weiter fort mit personen-, zeit- und ortgebundener Auswahl und Ableitungen *n*-ter Ordnung in den Geschichtsbüchern und Lexika, aus denen sich schliesslich das ‹kulturelle Gedächtnis› zusammensetzt[192].
Periodisierungsmodelle sind sozusagen das hinterste Ende der Informationskette. Historische Ereignisse werden nicht als unabhängige Schlaglichter, sondern als Teil eines Ganzen begriffen. Das Ziel von Periodisierungsmodellen ist es, grosse Zeiträume wie Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende sinnvoll zusammenzufassen, um «die bestimmenden Kräfte und Vorgänge einer Epoche zu erfassen und das Verständnis geschichtlicher Entwicklungen sowie des eigenen historischen Standortes fördern zu können».[193]

---

191 Halbwachs 1985, S. 121:
«Es gibt kein mögliches Gedächtnis ausserhalb derjenigen Bezugsrahmen, deren sich die in der Gesellschaft lebenden Menschen bedienen, um ihre Erinnerungen zu fixieren und wieder zu finden.»

192 Assmann 1997, S. 52:
«Das k u l t u r e l l e Gedächtnis richtet sich auf Fixpunkte in der Vergangenheit. Auch in ihm vermag sich Vergangenheit nicht als solche zu erhalten. Vergangenheit gerinnt hier vielmehr zu symbolischen Figuren, an die sich die Erinnerung heftet [...] Für das kulturelle Gedächtnis zählt nicht faktische, sondern nur erinnerte Geschichte. Man könnte auch sagen, dass im kulturellen Gedächtnis faktische Geschichte in erinnerte und damit in Mythos transformiert wird.»

193 Brockhaus 2006, Bd. 21, S. 207.

Wenn ich also eine Periodisierung angehe, begebe ich mich auf unsicheres Terrain. Gleichzeitig aber müssen wir uns bewusst machen, dass sämtliche Periodisierungsmodelle, mit denen wir aufgewachsen sind und die uns so in Fleisch und Blut übergegangen sind, dass uns ihr Gebrauch kaum noch bewusst wird, ebenso unsicheres Terrain sind. Sie erscheinen nur als fester Boden, weil sie als Verständigungsmittel allgegenwärtig und unverzichtbar sind. Es ist daher beinahe überflüssig, zu erwähnen, dass sich aus ihnen keine verlässlichen Vorhersagen über technische, wirtschaftliche oder gesellschaftliche Entwicklungen ableiten lassen.
Der Althistoriker Uwe Walter schreibt zur Bedeutung von Periodisierungsmodellen: «Ungeachtet ihres theoretisch prekären Status und der extremen Abhängigkeit von den jeweils privilegierten Kriterien bleibt Periodisierung als markanter Ausdruck von wissenschaftlichem Konventionalismus wie auch von neuen Akzentsetzungen und Paradigmenwechseln, ferner in der Organisation der akademischen historischen Disziplinen unentbehrlich.»[194] Der britische Historiker Charles Singer betont den Aspekt der Vereinfachung zugunsten der Vermittelbarkeit von Zusammenhängen: «Despite these difficulties, any history of any subject must necessarily be divided into sections, and these must be placed in some simple sequence in order to make the narrative intelligible.»[195]

Der grösste gemeinsame Konsens der historischen Periodisierung ist die konventionelle und weithin akzeptierte Einteilung der Weltgeschichte in Altertum, Mittelalter und Neuzeit. Ein früher Wegbereiter dieser Periodisierung ist die Polemik Giorgio Vasaris (1511–1574), der zwischen der glanzvollen Antike und ihrer gefeierten Wiedergeburt (Renaissance) das ‹gotische› Mittelalter als eine «Flut von Unheil» bezeichnete[196]. Seit der ‹Historia Universalis› (1702) des Hallenser Philologen und Historikers Christoph Cellarius (1634–1707) hat sich die Einteilung in Altertum/Antike, Mittelalter und Neuzeit in der allgemeinen Geschichtswissenschaft kanonisch durchgesetzt. Ihr Unterscheidungskriterium ist in erster Linie eine humanistische Distanzierung von theologischen, mit pessimistischen Endzeiterwartungen verbundenen Periodisierungen. Das ‹Mittelalter› steht dabei wie Vasaris Gotikbegriff für eine finstere Zwischenepoche. Diese wird gegenüber wird der Antike abgewertet, an die nun eine ‹Neuzeit› anknüpft. Dieses Periodisierungskriterium erscheint heute als befremdendes Kind seiner Zeit:

«Periodisierung: das Bemühen, den Gesamtverlauf der Geschichte in sinnvolle, in sich abgeschlossene Einheiten (Epochen) zu gliedern. Mit der Absicht, die Fülle der Ereignisse begreifbar zu machen, und der Überzeugung, die bestimmenden Kräfte und Vorgänge einer Epoche zu erfassen und das Verständnis geschichtlicher Entwicklungen sowie des eigenen historischen Standortes fördern zu können, ist Periodisierung immer Deutung, Ergebnis einer Geschichtstheorie.»

194 Uwe Walter in Der Neue Pauly 2000, Bd. 9, S. 577

195 Singer 1952, S. 13

196 Vasari 1550, S. 7
«Durch die unendliche Flut von Unheil, die im Mittelalter dem unglückseligen Italien alle Lebensluft geraubt hat, waren nicht nur die kunstvollen Bauwerke zerstört, sondern, was noch viel schlimmer war, es gab auch keine Künstler mehr.»
Der kunstgeschichtliche Epochenbegriff ‹Gotik› (ital. ‹gotico›, abgeleitet von der Bezeichnung des Germanenstammes der Goten) ist auf Vasari zurückzuführen, der damit seine Geringschätzung der mittelalterlichen Kunst gegenüber der Antike ausdrückte

Erstens bezieht es sich ausschliesslich auf einen europäisch-mediterranen Raum im engeren Sinn. Zweitens ist selbst die historische Kontinuität zwischen den Zivilisationen der Antike und den sogenannten ‹westlichen› europäischen Kulturen ein Konstrukt: Die Entwicklung des nordwestlichen Europs zu einer eigenständigen Hochkultur erfolgt erst im Mittelalter, nachdem sich das Imperium Romanum längst auf den östlichen Mittelmeerraum zurückgezogen hatte[197]. Dennoch ist die kanonische Einteilung in Antike – Mittelalter – Neuzeit als Verständigungsmittel in der heutigen Geschichtswissenschaft unentbehrlich.

Innerhalb dieses Kanons sind im deutschsprachigen Raum drei Arten von Periodisierungskategorien mit dem Anspruch einer Gliederung der allgemeinen Geschichte gebräuchlich. Sie repräsentieren nach dem Technikhistoriker Wolfgang König drei unterschiedliche Lesarten:

— «die politische Geschichte, die ihre Zäsuren mit politischen Ereignissen wie Staatengründungen, Revolutionen oder Kriegen setzt oder ihre Epochen an der Struktur der internationalen Beziehungen markiert: Zeitalter der Nationalstaaten oder des Imperialismus
— die Sozial- oder Gesellschaftsgeschichte, die die Gliederung von Gesellschaften in Klassen und Schichten und deren Interaktion in den Mittelpunkt stellt: Zeitalter des Feudalismus oder des Bürgertums.
— und die Kulturgeschichte, die sich meist an vor allem kunstgeschichtlich orientierte Epochenbegriffe wie Antike, Renaissance, Barock anlehnt.»[198]

Diese Periodisierungsmodelle stimmen jedoch nicht notwendigerweise überein mit den Zäsuren in der technischen Entwicklung – «the progress of technology does not altogether fit with this familiar pattern. It has its own chronology, its own critical phases»[199].

2.3.2 Ansätze zur Gliederung von Technikgeschichte

Die Technikgeschichte ist ein relativ junger Zweig der Geschichtswissenschaft, der erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts in einem ingenieurwissenschaftlichen Kontext entstanden ist[200]. Bevor wir uns mit der Übertragung der Kategorien Stoff-Energie-Information auf die Technikgeschichte beschäftigen, machen wir uns am besten mit ihrer Thematik vertraut, indem wir uns einen Überblick von Ansätzen zu ihrer Periodisierung verschaffen.
Für die Einteilung der Technikgeschichte sind in der Literatur verschiedene Konzeptionen vorgeschlagen worden. Bislang gibt es keine einhellige Antwort darauf, wodurch sich his-

197 Sieferle 2006, S. 310

198 König 1990, S. 288

199 Singer 1954, Bd. 1 S. VII. vgl. auch Singer 1952, S. 13, Hausen und Rürup 1975, S. 21 und Daumas 1975, S. 31–45

200 Im deutschsprachigen Raum geht die Institutionalisierung der Technikgeschichte und ihre Einführung als Studienfach zurück auf den Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und ihren Direktor Conrad Matschoss (1871–1942).

torische Relevanz in der Technik bestimmt und sich Epochen der Technikgeschichte konstituieren[201]. Die Divergenzen der unterschiedlichen Periodisierungsvorschläge können auf die unterschiedlichen Einteilungsmerkmale zurückgeführt werden[202]. Zudem fällt auf, dass es nicht nur Technikhistoriker sind, sondern auch Technikphilosophen, Wirtschaftswissenschaftler, Soziologen und Anthropologen, die sich – jeweils aus ihrer Sicht – mit der Periodisierung der Technikgeschichte auseinandersetzen[203] und aus ihrem jeweiligen Hintergrund Epochenbezeichnungen der Kunst-, Politik- oder Wirtschaftsgeschichte übertragen. Innerhalb dieser Vorschläge konnte ich ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige Schwerpunkte identifizieren:

2.3.2.1 Kunstgeschichtliche Periodisierung

Der Technikhistoriker Friedrich Klemm (1904–1983)[204] orientiert sich in seinen Publikationen am Periodisierungsmodell der Kunstgeschichte[205]. Für ihn ist es «gerade die hervorragende Aufgabe der Naturwissenschaft und der Technik, die Kulturverbundenheit dieser Fächer sichtbar zu machen», und zwar in der Weise, dass «versucht wird zu zeigen, wie seinerseits einzelne Kulturbereiche sich auf die Naturwissenschaft und die Technik auswirkten und wie andererseits die Technik die Gesamtkultur beeinflusste»[206]. Um diese Wechselbeziehungen deutlich zu machen, gliedert er die Technikgeschichte durchgängig in sieben kunstgeschichtliche Epochen: Die vorgriechische Zeit, die griechisch-römische Antike, das Mittelalter, die Renaissancezeit, die Barockzeit, das Zeitalter der Aufklärung, die Zeit der Industrialisierung, Technik wird Weltmacht. Dabei kann nicht von einer technikgeschichtlichen Periodisierung im eigentlichen Sinn die Rede sein, denn ihr liegt kein technikgeschichtliches Unterscheidungsmerkmal zu Grunde. Es wird vielmehr die Technik in der jeweiligen kunstgeschichtlichen Epoche beschrieben. Die letzten beiden von Fortschrittsideologie geprägten Kapitel fallen allerdings aus dem kunstgeschichtlichen Rahmen, ohne dass Klemm diesen Bruch thematisiert. Die für jenen Zeitraum gebräuchlichen kunstgeschichtlichen Begriffe ‹Moderne› und ‹Postmoderne› finden hingegen keine Verwendung. Dies kann als Indiz der Inkompatibilität der kunstgeschichtlichen Epochenbegriffe mit der technischen Entwicklung seit der Industrialisierung gedeutet werden.

---

201 Radkau 1990, S. 347

202 Ropohl 1979, S. 296

203 Paulinyi 1990a, S. 301, Hausen und Rürup 1975, S. 26

204 Prof. Dr. Friedrich Klemm war von 1956–1969 Direktor der Bibliothek Deutsches Museum München.

205 Klemm 1954, Klemm 1961, Klemm 1999, vgl. auch König 1990, S. 289

206 Klemm, Friedrich. Von den Aufgaben und vom Wert einer geschichtlichen Betrachtung der Naturwissenschaft und der Technik. in: Vom Wachs. Hrsg. von R. Büll. Bd. 1. Beitrag 12, Frankfurt a. M. 1977. S. 1014–1023, zitiert in: Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 93

2.3.2.2 Wirtschaftsgeschichtliche Periodisierung

Den Volkswirt Friedrich von Gottl-Ottlilienfeld (1868–1958) interessiert 1914 das Verhältnis zwischen der Entwicklung von Gesellschaft, Wirtschaft und Technik. Sein Unterscheidungsmerkmal zwischen den Perioden ist dabei weniger die Technik selbst als vielmehr ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft bzw. die sich daraus jeweils ergebende Wirtschaftsform. Gottl-Ottlilienfeld differenziert vier Zäsuren:

— «Urtechnik und vorwirtschaftlicher Zustand» der Jäger und Sammler, geprägt durch zufälliges Entdecken von Werkzeugen,
— «Stammestechnik und frühwirtschaftlicher Zustand», bei dem sich verschiedene Techniken durch bewusste Koordination zu einem Ganzen (Wirtschaft) fügen,
— «Handwerkertechnik und vorkapitalistische Wirtschaft», in der eine Differenzierung und Spezialisierung (Gewerbe) stattfindet und
— «Berufstechnik und kapitalistische Wirtschaft» mit Einsparung menschlicher Arbeit durch Mechanisierung[207].

2.3.2.3 Energietechnische Periodisierung

Der Auseinandersetzung mit Energietechnik als Fokus einer Periodisierung haben sich gleich fünf Autoren gewidmet, allerdings mit deutlich verschiedenen Schwerpunkten.

Conrad Matschoss

Das nach den dieser Arbeit zugrunde liegenden Quellen früheste technikgeschichtliche Periodisierungsmodell schlägt der Ingenieur Conrad Matschoss (1871–1942) vor. In seinem ersten Werk ‹Die Geschichte der Dampfmaschine› von 1901 erhebt er die Energie zum entscheidenden Kriterium technischen Fortschritts, den er als Erfüllung des biblischen Auftrags an den Menschen betrachtet: «Ein Fortschritt im Kampf um die Herrschaft der Erde aber ist nur möglich durch Steigerung der Kraft, durch Erschliessung neuer Kraftquellen.»[208] Matschoss gliedert den Entwicklungsgang der Technik in vier Abschnitte: 1) «Altertum» bis zum 13. Jahrhundert, geprägt durch die Nutzung menschlicher und tierischer Muskelkraft, 2) «Technisches Mittelalter» vom 14. bis zum 18. Jahrhundert, gipfelnd in der Entwicklung von Geschütz und Buchdruck und geprägt von Wasserkraftnutzung, 3) «Neue Zeit», mit der Dampfmaschine auf der Grundlage fossiler Kohle und 4) «Neueste Zeit» mit der Trennung von Krafterzeugung und Kraftnutzung durch elektrische Kraftübertragung[209]. Um die Technikgeschichte innerhalb

207 Gottl-Ottlilienfeld 1914, S. 226–256

208 Matschoss 1901, S. 7

209 Matschoss 1911, S. 1f

der Geschichtswissenschaften zu etablieren[210], greift Matschoss kunstgeschichtliche Epochenbegriffe auf, verschiebt aber deutlich deren Epochengrenzen entsprechend den Zäsuren in der Energiewirtschaft und vermeidet sorgfältig Bezeichnungen für die neueren Epochen, die sich mit kunstgeschichtlichen Begriffen nicht fassen lassen.

Lewis Mumford
Der amerikanische Architekturkritiker Lewis Mumford (1895–1990) unterteilt die Entwicklung der Maschine in drei Phasen, die sich überlappen und gegenseitig beeinflussen:
— «eotechnic phase, a water-and-wood complex» (1000–1750),
— «paleotechnic phase, a coal-and-iron complex» (1750–1910) und
— «neotechnic phase, an electricity-and-alloy complex» (1910–heute)[211].
Die Begriffe ‹paleotechnic› und ‹neotechnic› übernimmt Mumford von dem schottischen Biologen und Stadtplaner Patrick Geddes (1854–1932)[212] und lässt mit der ergänzten Phase des ‹eotechnic› die Anfänge der Industriellen Revolution bis ins Mittelalter zurückreichen. Mumfords Schema setzt mit der Übertragung der Eingangsgrösse Energie vom Menschen auf eine Maschine ein, was es in die Nähe der später in Kapitel 2.3.4 vorgestellten Ansätze rückt[213]. Das Unterscheidungskriterium zwischen den Phasen selbst sind jedoch nicht die Eingangsgrössen, sondern jeweils eine Kopplung aus (primärem oder sekundärem) Energieträger und charakteristischem Werkstoff.

Robert James Forbes
Der niederländische Wissenschaftshistoriker Robert James Forbes (1900–1973) periodisiert die Technikgeschichte nach der jeweiligen Kraftquelle in fünf Schritte, wobei er Energieträger und Energieumwandler gleichsetzt[214]: 1) Menschliche Muskelkraft, 2) Menschliche und tierische Muskelkraft, 3) Wasserrad, 4) Dampfmaschine und 5) Atomkraft.

---

210 Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 82:
«In seinem Bemühen, als Technikhistoriker bei seinen Zeitgenossen Anerkennung zu finden, lehnte sich Matschoss methodisch eng an die herrschende Richtung der Geschichtswissenschaft an. Wie der Historismus suchte er das historisch Singuläre, Individuelle in Form von Technikerbiographien und speziellen Technikbeschreibungen (Dampfmaschine, Zahnrad) herauszuheben.»

211 Mumford 1934, S. 111, 151 und 214
Dazu ergänzend die gelungene Formulierung S. 158: «In all broader aspects, paleotechnic industry rested on the mine: the products of the mine dominated its life and determined its characteristic inventions and improvements.»

212 Geddes 1915

213 Mumford 1934, S. 112:
«At the bottom of the eotechnic economy stands one important fact: the diminished use of human beings as prime movers, and the separation of the production of energy from its application and immediate control. While the tool still dominated the production energy and human skill were united within the craftsman himself: with the separation of these two elements the productive process itself tended toward a greater impersonality, and the machine-tool and the machine developed along with the new engines of power. If power machinery be a criterion, the modern industrial revolution began in the twelth century and was in full swing by the fifteenth.»
zur «Industrial Revolution of the Middle Ages« vgl. auch Gimpel 1977

214 Forbes 1955, Bd. 2, S. 80f

Rolf Peter Sieferle

Der Umwelthistoriker Rolf Peter Sieferle (*1949) unterscheidet drei Energiesysteme, die er als «sozialmetabolische Regimes»[215] bezeichnet: 1) unmodifiziertes Solarenergiesystem primitiver Gesellschaften, 2) modifiziertes Solarenergiesystem von Agrargesellschaften und 3) Fossiles Energiesystem der Industriegesellschaft. Dazwischen setzt er als Zäsuren die neolithische Revolution bzw. die Industrielle Revolution.[216] Die Energie ist im Stoffwechsel jeweils die kritische, systembestimmende Grösse[217]. Die Industrialisierungsepoche betrachtet Sieferle nicht als dauerhaftes Regime, «da sie im physisch-energetischen Sinne prinzipiell nicht nachhaltig ist»[218] und die Merkmale des sich gegenwärtig bildenden sozialmetabolischen Regimes daher unbekannt seien. Sieferles Periodisierung führt vor Augen, dass der industrielle Fortschritt auf einer Umstellung der Energieversorgung von konstant verfügbarer Solarenergie auf kurzfristig endliche fossile Energie beruht.

Jean-Claude Debeir, Jean-Paul Deléage, Daniel Hémery

Jean-Claude Debeir, Jean-Paul Deléage und Daniel Hémery betrachten die Technikgeschichte als Folge von ‹Energiesystemen›: Ein Energiesystem umfasst dabei die ökologischen und technischen Gegebenheiten (Entwicklung der Energieträger, der Umwandler und ihrer Wirkungsgrade) sowie die Strukturen der Aneignung, Bewirtschaftung dieser Quellen und Umwandler durch die Gesellschaft[219]. Die Anzahl der vorgestellten Energiesysteme sind durch ihre fliessenden Grenzen schwer auszumachen, als zeitliche Richtpfeiler dienen Cellarius' Begriffe Altertum und Mittelalter sowie die Industrialisierung.

2.3.2.4 Umweltgeschichtliche Periodisierung

Joachim Radkau

Der auf Umwelthistoriker Joachim Radkau (*1943) thematisiert 1990, wie sich das Periodisierungsproblem der Technikgeschichte mit der historischen Umweltforschung koppeln und eine Technik und Umwelt umgreifende Periodidisierung finden liesse. In einer auf die deut-

215 Sieferle 2006, S. 15

216 Sieferle 1987, S 149 ff und leicht modiziert in Sieferle 2006, S. 15 f.

1. Regime unkontrollierter Solarenergieflüsse der Jäger- und Sammlergesellschaften
2. Regime kontrollierter Solarenergieflüsse der Agrargesellschaften
3. Industrialisierungsepoche. Nutzung fossiler Energieträger

217 Sieferle 2006, S. 19

«Einen zentralen Zugang hierzu bildet die Analyse des Energieflusses, denn der Umfang des sozialen Metabolismus, also der gesamte Bereich von Produktion, Konsum, Technik und Bevölkerungsentwicklung, wird letztlich von der Verfügbarkeit von Energie bestimmt.»

218 Sieferle 2006, S 16

219 Debeir [et al.] 1989

sche Technikgeschichte ausgerichteten Einteilung unterscheidet Radkau vier Phasen, die er mit unterschiedlichen Kriterien voneinander abgrenzt: 1) Regenerative Ressourcen (frühes 18. bis Mitte 19. Jahrhundert), 2) Masseneinsatz von Steinkohle/Hygiene (Mitte bis Ende 19. Jahrhundert), 3) Militärtechnik/Tempo (Anfang bis Mitte 20. Jahrhundert), 4) Wegwerfgesellschaft/Kerntechnik[220]. Während die ersten beiden Perioden einer energietechnischen Einteilung wie bei Sieferle folgen, legt Radkau seinen Fokus bei Periode 3 (Tempo) und 4 (Wegwerfgesellschaft) jeweils ganz woanders. Radkau spricht sich sogar ausdrücklich gegen ein einheitliches Unterscheidungsmerkmal aus[221], so dass er nicht einer energietechnischen Periodisierung zuzuordnen ist.

2.3.2.5 Periodisierung nach Art der Lösungsfindung

José Ortega y Gasset
Der spanische Philosoph und Soziologe José Ortega y Gasset (1883–1955) unterscheidet 1949 die Art der Lösungsfindung nach ‹Technik des Zufalls›, ‹Technik des Handwerkers› und ‹Technik des Technikers›[222]. Das Schema zeigt Parallelen zur bereits vorgestellten vierstufigen wirtschaftsgeschichtlichen Einteilung Gottl-Ottlilienfelds: Die Technik des Zufalls ist dabei das zufällige und unbeabsichtigte Entdecken von Verfahren in der menschlichen Frühgeschichte. Die Technik des Handwerkers im vorkaiserlichen Rom und im Mittelalter ist geprägt von der erfahrungsbasierten, kontinuierlichen Verbesserung bestimmter, mit Werkzeugen ausgeführter Tätigkeiten. Die Technik des Technikers in der Neuzeit ist die bewusste Trennung von Verfahren und Ausführung, von Techniker und Arbeiter beziehungsweise Maschine.

2.3.2.6 Soziokulturelle Periodisierung

Anthropologische und technikgeschichtliche Periodisierungsmodelle sind eng miteinander verwandt, denn die Geschichte der Technik ist auch eine Geschichte der Soziokultur und umgekehrt. Anthropologische Theorien zur Entwicklung der menschlichen Gesellschaft sind vielfältig und können bis in die Aufklärung zurückverfolgt werden[223]. In diesem Rahmen will ich stellvertretend nur eine kleine Auswahl treffen, die auf technischen Fortschritt fokussiert:

---

220 Radkau 1990, S. 345–361, stichworthafte Benennung der Phasen durch den Autor

221 Radkau 1990, S. 350
«Von dem Interesse nach Stileinheit her verfällt man leicht dem Ehrgeiz, die gesamte Technikgeschichte nach einem Kriterium gliedern zu wollen; aber ich bezweifle, ob es Sinn hat, diesem Ehrgeiz zu sehr nachzugeben. Ein Kennzeichen des Epochenwandels besteht oftmals eben darin, dass das, was allgemein als relevant gilt, wechselt.»

222 Ortega y Gasset 1949, S. 93–103, vgl. dazu auch die Phasen der technischen Ontogenese bei Ropohl 1979, S.272ff

223 vgl. Harris 1969, The Rise of Anthropological Theory

Darcy Ribeiro

Der brasilianische Anthropologe und Politiker Darcy Ribeiro (1922–1997) beschreibt 1968 die gesamte Entwicklung der Menschheit als Resultat technischer Entwicklungsprozesse, um sich von der europäischen Kultur-, Politik- und Wirtschaftsgeschichte zu emanzipieren. Er betrachtet dabei «die technologischen Revolutionen als kausale Grundfaktoren, die soziokulturellen Formationen als Antworten auf diese Revolutionen und die Zivilisationen als konkrete historische Einheiten, […] die sich aus diesen Formationen kristallisieren»[224]. Zwischen die drei allgemein anerkannten kulturellen Revolutionen Agrarrevolution (1), Urbane (2) und Industrielle Revolution (6) fügt er die Revolution der Bewässerung (3), die Metallurgische (4), die Hirten- (5) und die Merkantile Revolution (6) und setzt mit der Thermonuklearen Revolution (8) eine letzte Zäsur. Dabei fasst Ribeiro 1–2 als archaische Gesellschaft, 3–5 als regionale Zivilisationen, 6–7 als weltweite Zivilisationen und 8 als Zivilisation der Menschheit zusammen. Ribeiros Ansatz ist im Kontext seiner eigenen Biographie besonders interessant[225]. Da die eigenständige Entwicklung der südamerikanischen Kultur von Cellarius' europazentriertem Kanon nicht umfasst wird, ist er motiviert davon, in seinem Modell die verschiedenen Zivilisationen durch technischen Fortschritt zusammenzuführen.

Samuel Lilley

Wie Ribeiros Periodisierung zeichnet sich auch die Arbeit des britischen Historikers Samuel Lilley (1914–1987) durch den Fortschrittsglauben der 1960er Jahre aus. Lilley unterscheidet zwei technische Revolutionen, die neolithische und die industrielle Revolution. Im Gegensatz zu allen anderen Periodisierungsversuchen betrachtet Lilley diese Revolutionen als lange Zeiträume, die voneinander durch eine Phase des Stillstands zwischen 2500 v. Chr. und 500 n. Chr. abgegrenzt sind. Die zweite technische Revolution begann nach Lilley im Mittelalter und befindet sich nach wie vor in einer Frühphase. Die beiden Revolutionen charakterisiert er durch ihre Gesellschaftsform: Die erste verwandele einen allgemeinen Mangel an Gütern in Überfluss für einen Teil der Menschheit mit ihren Erfindungen Klassengesellschaft und Krieg. Der zweiten technischen Revolution spricht er die Möglichkeit auf ‹Reichtum für alle› zu[226].

---

224 Ribeiro 1971

225 Heinz Rudolf Sonntag im Nachwort zu Ribeiro 1971, S. 258:
«Darcy Ribeiro begann seine zivilisatorischen Studien mit Forschungen über die eingeborenen Bevölkerungen Amerikas. Unter der Regierung Kubitscheks wurde er beauftragt, das Modell einer neuen Universität für die Hauptstadt Brasilia zu entwerfen, er wurde ihr erster Rektor. Der reformistische Präsident Joa Goulart berief Ribeiro zum Minister für Kultur und Erziehung; etwa ein Jahr vor dem Militärputsch der Gorillas (1964) wurde er zum Jefe de la Casa Civil, also zu einer Art Premierminister ernannt. Nach der Errichtung der Diktatur ging Ribeiro ins Exil. Aus dem Scheitern der reformistischen Experimente in Brasilien zog er jedoch auch theoretische Konsequenzen. Er machte sich nicht nur auf die Suche nach einem tieferen Verständnis für die Ursachen und Folgen der Unterentwicklung, sondern auch nach politischen Strategien zu deren Überwindung. Dazu hielt Ribeiro es für notwendig, ein neues Schema der soziokulturellen Entwicklung überhaupt zu entwerfen.»

226 Lilley 1966, S. 325ff; Lilley 1976, S. 187f

Charles Singer

Der britische Wissenschaftshistoriker Charles Singer (1876–1960) legt in seiner Periodisierung Wert auf den Beitrag antiker Völker wie Ägyptern, Assyrern und Etruskern vor der Griechisch-römischen Zeit[227]. Dementsprechend thematisieren drei seiner sechs Phasen das Altertum: Aufstieg der neolithischen Kultur, urbane Revolution, Aufstieg der Reiche des Altertums, Einführung von Metallverarbeitung und Schrift, Niedergang der Reiche des Altertums, Aufstieg der experimentellen Wissenschaft[228].

Heinrich Popitz

Eine in ihren Zäsuren mit Ribeiro vergleichbare, aber deutlich zukunftskritischere Einteilung findet der Soziologe Heinrich Popitz (1925–2002). Er interpretiert 1989 Technikgeschichte als «Anthropo-Zentrierung der Erde», worunter er eine schrittweise technische Nutzung der Natur durch den Menschen versteht. Popitz hebt sieben ‹Technologien›[229] hervor: 1) Die Technologie des Werkzeugs, 2) die Technologie der Agrikultur, 3) die Technologie der Feuerbearbeitung, 4) die Technologie des Städtebaus, 5) die Technologie der Maschine, 6) die Technologie der Chemie und 7) die Technologie der Elektrizität. 2–4 werden als erste, 5–7 als zweite technologische Revolution zusammengefasst. Die gegenwärtigen Entwicklungen, die Popitz als mikroelektronische Informationsverarbeitung, Atomenergie und Gentechnologie identifiziert, hat Popitz nicht erfasst, da sie schwer zu bewerten seien und nicht in den gesteckten Rahmen passen[230].

Gerhard Lenski

Der amerikanische Soziologe Gerhard Emmanuel Lenski (*1924) unterscheidet vier prinzipielle Entwicklungsstufen menschlicher Gesellschaften, die er nach ihrer ‹subsistence technology› (etwa ‹Grundbedürfnisse einer Gesellschaftsform befriedigende Technik›) unterteilt[231]:

- Hunting and gathering societes, bis 7000 v. Chr.,
- Horticultural societies (einfach: mit Feldbau, fortschrittlich: mit Metallurgie), 7000 bis 3000 v. Chr.
- Agrarian societies (einfach: mit Pflug, fortschrittlich: mit Eisen), 3000 v. Chr. bis 1800,
- Industrial societes (mit fossilen Eneriequellen), ab 1800

Als Grundlage des technischen Wandels sieht Lenski jeweils die Information – sowohl ‹technological information›, die die Grenzen der technischen Möglichkeiten festlegt, als auch

227 Singer 1952, S. 11:
«The techniques of the Greek or Roman craftsmen were in general much below those of their Egyptian, their Assyrian, or even their Etruskian predecessors.»

228 Singer 1952, S. 13ff

229 entsprechend unserer Definition in Kapitel 2.1.2 sind bei Popitz nicht ‹Technologien›, sondern ‹Techniken› gemeint

230 Popitz 1989, S. 10ff

231 Lenski 1991, S. 69ff und S. 76

Periodisierung	*Autor*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
kunstgeschichtlich	Klemm 1954	Vorgriech. Zeit	Griech.-röm. Antike ab 600 v. Chr.	Mittelalter ab 6. Jh.	Renaissance ab 15. Jh.	Barock ab 17. Jh.	Aufklärung ab 1. Hälfte 18. Jh.	Industrialisierung 19. Jh.	Technik wird Weltmacht 2. Hälfte 20. Jh.
wirtschaftsgeschichtlich	Gottl-Ottlilienfeld 1914	Urtechnik	Stammestechnik	Handwerkertechnik	Berufstechnik				
energietechnisch	Matschoss 1901	Altertum bis 13. Jh.	Technisches Mittelalter 14.-18. Jh.	Neue Zeit 19. Jh.	Neueste Zeit Gegenwart				
	Mumford 1934	eotechnic phase 1000-1750	paleotechnic phase 1750-1910	neotechnic phase ab 1910					
	Forbes 1955	Menschliche Muskelkraft k.A.	Menschl./tier. Muskelkr. k.A.	Wasserrad k.A.	Dampfmaschine k.A.	Atomkraft k.A.			
	Sieferle 1987	Unmod. Solarsystem Primitive Gesellsch.	Mod. Solarsystem Agrargesellsch.	Fossiles Energiesystem Industriegesellsch.					
	Debeir [et al.] 1986	Altertum	Mittelalter	Industrialisierung					
umweltgeschichtlich	Radkau 1990	Regenerative Ressourcen 1700-1850	Steinkohle, Hygiene 1850-1900	Militär, Tempo 1900-1950	Wegwerfgesellschaft, Kernenergie 1950-				
Lösungsfindung	Ortega y Gasset 1949	Technik des Zufalls prähistorisch, Wilde	Technik des Handwerkers Griech.-röm. Antike, Mittelalter	Technik des Technikers ab 18. Jh.					
soziokulturell	Ribeiro 1968	Agrarrevolution ab 10 000 v. Chr.	Urbane Revolution ab 4 000 v. Chr.	Rev. der Bewässerung ab 2 500 v. Chr.	Metallurgische Rev. ab 1 200 v. Chr.	Hirtenrevolution ab 3. Jh.	Merkantile Revolution ab 16. Jh.	Industrielle Revolution ab 18. Jh.	Thermonukleare Rev. Zukunft
	Popitz 1989	Technologie des Werkzeugs im Zuge der Phylogenese	Technologie der Agrikultur ab 8 000 v. Chr.	T. der Feuerbearbeitung ab 6 000 v. Chr.	T. des Städtebaus ab 3 000 v. Chr.	T. der Maschine 2. Hälfte 18. Jh.	T. der Chemie 1. Hälfte 19. Jh.	T. der Elektrizität 2. Hälfte 19. Jh.	
	Lilley 1966	1. Technolog. Revolution 10 000-2 500 v. Chr.	2. Technolog. Revolution 500 -Gegenwart						
	Singer 1952	Neolithic Culture 10 000 v. Chr.	Urban Revolution 3 500 v. Chr.	Rise of Ancient Empires 3 000 v. Chr.	Metals and Writing 3 000 v. Chr.	Decline of Ancient Empires 500	Experimental Science 1500		
	Lenski 1991	Hunting and gathering era bis 7000 v. Chr.	Horticultural era 7000-3000 v. Chr.	Agrarian era 3000 v. Chr.-1800	Industrial era 1800-				

Tabelle 2: *Übersicht verschiedener technikgeschichtlicher Periodisierungsmodelle*

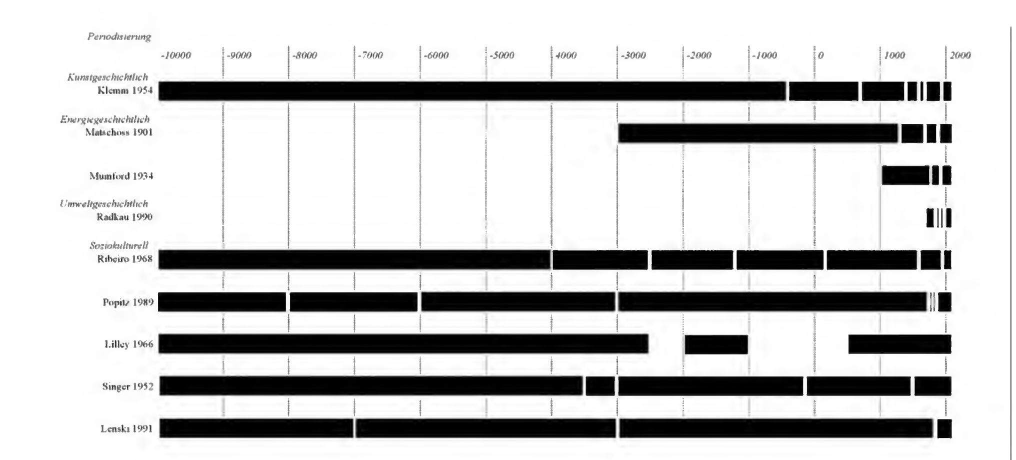


Tabelle 3: *Vergleich Gliederung der Periodisierungsmodelle; beschränkt auf die Autoren, die ihre Zäsuren an einer Zeitachse verankern*

‹ideological information›, nämlich die Haltung, die eine Gesellschaft oder ihre Führer zur Auswahl der technischen Möglichkeiten einnehmen[232].

In Tabelle 2 und 3 habe ich diese ingesamt zwölf technikgeschichtlichen Periodisierungsmodelle verglichen. Die Übersicht zeigt, das innerhalb des technikgeschichtlichen Rahmens eine Vielzahl von Interpretationen aus dem Blickwinkel der Kunstgeschichte, Wirtschaftsgeschichte, Energietechnik, Lösungsfindung, Soziokultur und technischer Verfeinerung möglich sind, die auf den ersten Blick kaum etwas miteinander gemeinsam haben. Die Bandbreite wird besonders deutlich in der graphischen Darstellung in Tabelle 3. Nicht einmal die fünf bzw. vier Autoren, die eine energietechnische bzw. soziokulturelle Periodisierung vorgenommen haben, kommen zum gleichen Resultat. Die Diversität der Ergebnisse illustriert das zu Beginn dieses Kapitels aufgeführte Zitat Heinz von Foersters, nach dem jedes System ein autorenbezogenes «goal directed system» sei[233].
Als Übereinstimmungen können wir lediglich festhalten: Alle Autoren sind sich einig, dass technischer Fortschritt in der allmählichen Entwicklung bestehender Verfahren beruht, während völlig neue Prinzipien selten sind[234]. 12.000 Jahre Technikgeschichte werden in drei bis maximal acht Epochen unterteilt. Zudem herrscht ein Konsens über zwei Zäsuren: Den Beginn des Neolithikums (‹Agrarrevolution›) ab etwa 8.000 v. Chr. und die Industrialisierung (‹Industrielle Revolution›) im 18. Jahrhundert (alle ausser Singer 1952)[235]. Drei Modelle (Forbes 1955, Ribeiro 1968 und als Prognose Popitz 1989) kommen zu dem – aus heutiger Sicht mit ungenügender historischer Distanz gezogenen – Schluss, die letzte, aktuelle Epoche sei durch Atomenergie geprägt.
Bei meiner Suche nach einer Periodisierung, die ich für die Zwecke dieser Arbeit auf die Fertigungstechnik, die Bauproduktion und letztendlich die Baukonstruktion in der Architektur übertragen will, geben die vorgestellten Modelle kaum Anhaltspunkte; auch nicht jenes des Architekturkritikers Lewis Mumford.

— Keines der vorgestellten Modelle macht epochenbezogene Aussagen über die Merkmale der mit ihrer Technik hergestellten Artefakte, die wir auf das Bauen übertragen könnten.
— Es ist nicht Absicht der Autoren – mit Ausnahme der energietechnischen Periodisierungen, die durchgängig nach Energieträgern fragen – ein technisches Kriterium zur Setzung der Zäsuren einzuführen. Radkau hat sich sogar gegen ein einheitliches Unterscheidungs-

232 Lenski 1991, S. 248f

233 vgl. auch die autorenbezogenen Systeme in Kapitel 2.2.4

234 Rapp 1978, S. 33

235 siehe auch Sachsse 1978, S. 85–92, Ropohl 1979 S. 297, Popitz 1989, S. 10ff, Lilley 1966, S. 325ff
Die zentrale Rolle der Industriellen Revolution in der Technikgeschichte ist mit der Entstehung der Technikgeschichte selbst als Disziplin verbunden. So formulieren Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 31: «Untrennbar verbunden ist nämlich die Geschichte der Technik und die Technikgeschichte von jeher mit dem Problem industrieller Revolutionen oder d e r Industriellen Revolution.»

merkmal ausgesprochen. Gerade aber durch ein präzise festgelegtes, einheitliches technisches Unterscheidungsmerkmal können wir im beim Vergleich zweier Zeitabschnitte eine Aussage darüber treffen, was sich konkret in der Produktion und ihren Produkten verändert hat.

— Für den Fokus unserer Untersuchung fällt ins Gewicht, dass sich die gegenwärtige, von Informationstechnik geprägte Entwicklung in keiner der Bezeichnungen für die letzte Epoche der Technikgeschichte wiederspiegelt. Die jüngsten Periodisungsmodelle ab den 1980er Jahren sprechen von ‹Wegwerfgesellschaft, Kernenergie› (Radkau 1990), ‹Fossiles Energiesystem› (Sieferle 1987, 2006) oder ‹Technologie der Elektrizität› (Popitz 1989). Allein Popitz erwähnt die ‹mikroelektronische Informationsverarbeitung› unter anderem als aktuelle Entwicklung, will sie aber von seinem Schema abgrenzen[236]. Lenski 1991 macht zwar die Information zum Teil seines Unterscheidungsmerkmals, behandelt Informationstechnik aber als Teil der Industriegesellschaft.

Ist es tatsächlich so, dass es in der Informationstechnik keinen wesentlichen Unterschied zu früheren technischen Systemen gibt? Sind die wirtschaftsgeschichtlichen Vorstellungen einer postindustriellen[237] bzw. postkapitalistischen Gesellschaft[238] nicht auf die Technikgeschichte übertragbar? Entbehren zeitgenössiche Wortschöpfungen wie ‹elektronische›[239], ‹digitale›[240], ‹informationelle Revolution›[241] oder ‹Informationsrevolution›[242] der Grundlage eines Periodisierungsschemas?

2.3.3 Systematische Periodisierung von Technikgeschichte: Einführung

Die kurze Einführung in die Bandbreite technikgeschichtlicher Periodisierungsmodelle hat deren Heterogenität vor Augen geführt. Hat die enorme Vielfalt der Sichtweisen mit dem Fehlen eines sorgfältig definierten Unterscheidungskriteriums zu tun? Mein nächster Fokus werden daher nicht die Epochen der Periodisierung sein, sondern das technische Periodisierungskriterium selbst, das ich als Teilfunktion eines technischen Systems betrachte. Wenn es, wie ich im Kapitel 2.2 gezeigt habe, in den Ingenieurwissenschaften bis heute einen so breiten Konsens über die Rolle der Kategorien Stoff, Energie und Information gibt, sollten sich die Kausalverbindungen zwischen diesen nicht als technikgeschichtliches Periodisierungskriterium eignen?

236 Popitz 1989, S. 11
237 Bell 1973, in Anlehnung daran Toffler 1980
238 Drucker 1993
239 Balkhausen 1985
240 Christensen und Thygesen 1995 , Tapscott 1996
241 Ropohl 1999, S. 255
242 Bode 1997, Siebel 1998

Dies ruft noch einmal das Ziel dieser Arbeit in Erinnerung: Ich beabsichtige nicht wie die ‹Methodische Konstruktionslehre› den funktionalen Aufbau noch unbekannter Maschinenelemente abzuleiten (vgl. Kapitel 2.2.2), sondern vielmehr aus der Analyse bekannter Maschinenelemente Zäsuren in der Entwicklung der Fertigungstechnik zu ermitteln.
Dazu werde ich wiederum Quellen heranziehen, bei denen der Kontext der Technik (Gesellschaft, Wirtschaft) und ihre Verankerung an einer Zeitachse im Unterschied zu den bereits vorgestellten Arbeiten in den Hintergrund treten. Dabei handelt sich dabei weniger um Gliederungen der Technikgeschichte als vielmehr um systematische Gliederungen der Fertigungsentwicklung. In der Literatur sind zwei eng verwandte Ansätze zu unterscheiden:

— Periodisierung nach Übertragung der Eingangsgrössen eines Systems vom Menschen auf eine technische Einrichtung: Modelle, die die Entwicklung der Fertigung nach der Übertragung von Eingangsgrössen eines technischen Systems vom Menschen auf eine technische Einrichtung unterteilen.
— Periodisierung nach Übertragung der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück vom Menschen auf eine technische Einrichtung: Modelle, die innerhalb der Teilfunktionen eines technischen Systems die Bestimmenden der Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug als Auslöser historischer Prozesse in der Fertigung identifizieren.

Das Handwerkszeug zu deren Vergleich und Beurteilung gibt uns der Technikphilosoph Günter Ropohl in die Hand. In Zusammenarbeitschlägt mit seinem Doktorvater Claus Martin Dolezalek schlägt er in einer seiner frühen Arbeiten ein Schema vor, bei dem er 1967 zunächst sechs (Tabelle 4)[243] und später in tabellarischer Form in seiner Doktorarbeit 1979 sogar neun (Tabelle 5)[244] Entwicklungsstufen der Fertigungstechnik unterscheidet, die er durch eine schrittweise Übertragung von sechs (bzw. neun) Teilfunktionen der Fertigung vom Menschen auf eine technische Einrichtung kennzeichnet. Die einzige Funktion, die in seinem zweiten Schema beim Menschen verbleibt, ist die Zielsetzung.
Ropohls Modell ist die differenzierteste Gliederung der Zwischenstufen zwischen menschlicher und maschineller Fertigung, auf die ich mich berufen kann. Allerdings berücksichtigt sie nicht, dass die sechs oder neun Technisierungsstufen nicht zwingend in der vorgeschlagenen Reihenfolge stattfinden: So ist es nicht möglich, eine technische Einrichtung einzuordnen, bei denen die Bewegungsgruppe (im Modell von 1967) bzw. die Führung (1979) von einer technischen Einrichtung ausgeführt wird, die Energieversorgung aber hingegen vom Menschen: Die frühen handbetriebenen Maschinen der Baumwollspinnerei[245] etwa liessen sich keiner von Ropohls Technisierungsstufen zuweisen. Wollte man alle Kombinationen von menschlich und

243 Dolezalek und Ropohl 1967b, S. 715

244 Ropohl 1979, S. 180f

245 vgl. Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 198

maschinell ausgeführten Teilfunktionen berücksichtigen, wären dies theoretisch 64 (2^6) bzw. sogar 512 (2^9) Entwicklungsstufen. Mit dieser erweiterten Gliederung könnte ich also operieren, sollte dies sich als notwendig erweisen.
Ich greife im Folgenden auf die Begriffe des älteren sechsstufigen Modell von 1967 zurück, da Ropohl das spätere neunstufige Modell nur in einer Tabelle angedeutet hat, in der die Stufen weder einzeln bezeichnet noch definiert sind. Ropohls sechsstufiges Schema der Technisierung unterscheidet anhand der schrittweisen Übertragung von Teilfunktionen vom Menschen auf eine technische Einrichtung in:

— Reine Handarbeit
— Handwerkliche Arbeit
— Technisierte handwerkliche Arbeit
— Einfache Maschinenarbeit
— Hochentwickelte Maschinenarbeit
— Automatisierte Maschinenarbeit[246]

---

246 Dolezalek und Ropohl 1967b, S. 715f
Dolezalek und Ropohl unterscheiden in einem technischen System sechs Teilfunktionen:
1. Die Arbeitsgruppe; sie bewirkt die unmittelbare Veränderung der Werkstückgestalt und nimmt die Reaktionskräfte auf.
2. Die Antriebsgruppe; sie stellt die für die Fertigung nötige kinetische Energie zur Verfügung
3. Die Bewegungsgruppe; sie bestimmt die für den Fertigungsvorgang erforderlichen Relativbewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug
4. Die Steuergruppe; sie liefert und überträgt die für den Fertigungsvorgang unerlässlichen Informationen.
5. Die Mess- und Prüfgruppe; sie stellt die am Werkstück entstandenen Veränderungen fest und konstrolliert den ordungsmässigen Ablauf des Fertigungsvorgangs.
6. Die Werkstückhandhabungsgruppe; sie sorgt für die Ortsveränderung des Werkstücks innerhalb des Fertigungsprozesses und für die richtige Positionierung relativ zum Werkzeug.

Daraus wird eine sechsstufige Übertragung von Teilfunktionen vom Menschen auf eine technische Einrichtung abgeleitet
1. Reine Handarbeit. Der gesamte Fertigungsprozess wird vom Menschen durchgeführt. Die Hand ist das Werkzeug, die Muskeln sorgen für den Antrieb, das Nervensystem steuert die Bewegungen, die Sinnesorgane registrieren das Resultat der Arbeit und die Ortsveränderung des Werkstücks geschieht von Hand. Reine Handarbeit ist heute fast nur noch bei künstlerischer Tätigkeit üblich.
2. Handwerkliche Arbeit. Die Arbeit der menschlichen Hand wird unterstützt und die Arbeitskraft verstärkt durch ein Werkzeug, das als die einfachste technische Einrichtung zu bezeichnen ist. Alle übrigen Funktionen erfüllt der Mensch. Handwerkliche Arbeit gibt es noch in vielen industriellen Fertigungsprozessen.
3. Technisierte handwerkliche Arbeit. Die Antriebsfunktion übernimmt eine technische Einrichtung, die die menschliche Muskelenergie durch technisch erzeugte Energie (z.B. Elektrizität, Druckluft) unterstützt bzw. ersetzt.
4. Einfache Maschinenarbeit. Hier führt eine technische Einrichtung das Werkzeug nach technologischen Gesetzen. Für die Steuerung des Arbeitsablaufs ist jedoch immer noch der Mensch nötig. (z.B. einfache Drehmaschine).
5. Hochentwickelte Maschinenarbeit. Sie ist daduch gekennzeichnet, dass technische Einrichtungen den Fertigungsablauf steuern. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Drehmaschine mit mechanischer Programmsteuerung; man nennt diese Maschinen zwar Drehautomaten, doch sollte beachtetet werden, dass der Mensch dabei immer noch für zwei wesentliche Teilfunktionen erforderlich ist.
6. Automatisierte Maschinenarbeit. Erst nachdem auch die Funktionen des Messens und Prüfens und insbesondere der Werkstückhandhabung von technischen Einrichtungen ausgeführt werden, kann man von Automatisierung sprechen. Erst bei dieser Entwicklungsstufe ist der Mensch für den unmittelbaren Ablauf des Fertigungsprozesses entbehrlich.

Wolffgramm 1978, S. 44f schlägt eine begrifflich an Marx angelehnte (Bewegungsmaschine – Transmissionsmechanismus – Arbeitsmaschine, vgl. Kapitel 2.3.5), inhaltlich aber mit Ropohl weitgehend übereinstimmende Gliederung vor: Werkzeuge – Geräte – Einfache Maschinen – Klassische Maschinen – Programmgesteuerte Maschinen – Kybernetische Maschinen.

	Arbeitsarten	*Arbeitsgruppe*	*Antriebsgruppe*	*Bewegungsgruppe*	*Steuergruppe*	*Mess- und Prüfgruppe*	*Werkstückhand-habungsgruppe*	*Beispiel*
1	Reine Handarbeit	0	0	0	0	0	0	Gestalten einer Tonfigur
2	Handwerkliche Arbeit	T	0	0	0	0	0	Feilen
3	Technisierte handwerkliche Arbeit	T	T	0	0	0	0	Bohren mit Elektrowerkzeug
4	Einfache Maschinenarbeit	T	T	T	0	0	0	herkömmliche Zug- und Leitspindeldrehmaschine
5	Hochentwickelte Maschinenarbeit	T	T	T	T	0	0	Drehautomat
6	Automatisierte Maschinenarbeit	T	T	T	T	T	T	Transferstrasse mit Qualitätsregelung

Tabelle 4: *Sechs «Entwicklungstufen der Technisierung von der Handarbeit bis zur Automatisierung («0» ist der Mensch, «T» eine technische Einrichtung). in: Dolezalek und Ropohl 1967b, S. 715).*

	Ausführungssystem					*Informationssystem*			
Subfunktionen des Handlungs-systems / *Technisierungsstufen*	*Einwirkung*	*Energie-versorgung*	*Führung*	*Bereitstellung Aufnahme, Abgabe*	*Effektor*	*Informations-speicherung*	*Rezeptor*	*Informations-verarbeitung*	*Zielsetzung*
Reine Handarbeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Handwerkliche Arbeit	T	0	0	0	0	0	0	0	0
Mechanische Arbeit	T	T	0	0	0	0	0	0	0
Einfache Maschinenarbeit	T	T	T	0	0	0	0	0	0
Entwickelte Maschinenarbeit	T	T	T	T	0	0	0	0	0
Entwickelte Maschinenarbeit	T	T	T	T	T	0	0	0	0
Automatische Maschinenarbeit	T	T	T	T	T	T	0	0	0
Automatische Maschinenarbeit	T	T	T	T	T	T	T	0	0
Automatische Maschinenarbeit	T	T	T	T	T	T	T	T	0

Tabelle 5: *Neunstufige Technisierung: «Soziotechnische Realisationen von Handlungsfunktionen» («0» bezeichnet den Menschen, «T» eine technische Einrichtung.) in: Ropohl 1979, S. 181.*

Es muss hinzugefügt werden, dass Ropohl selbst seine Gliederung nicht als (Grundlage für eine) Periodisierung betrachtet. Er erkennt ihr allerdings eine «diachronisch-historische Tendenz» zu, die annähernd auch die «zeitlichen Entwicklungsphasen des technischen Fortschritts in der Industriearbeit»[247] widerspiegelt.

2.3.4 Periodisierung nach Übertragung der Eingangsgrössen Energie und Information vom Menschen auf eine Maschine

Ich will nun versuchen, innerhalb der Technisierungsstufen Ansätze für eine Periodisierung auszumachen, die sich direkt in den Produkten der Fertigung niederschlägt. Eine erste Gruppe von Arbeiten fokussiert die Eingangsgrössen eines Systems und deren schrittweise Übertragung vom Menschen auf eine Maschine. Dieser Ansatz, der den Begriff von ‹Maschine› an die Entkopplung von menschlicher oder tierischer Antriebskraft bindet, ist heute in der aktuellen europäischen Maschinenrichtlinie in Gebrauch[248].

Hermann Schmidt

Eine Unterscheidung nach dem Ursprung der drei Eingangsgrössen Stoff-Energie-Information ist kaum denkbar ohne das Fundament der Kybernetik und der Einführung der Information als dritter Grösse durch Norbert Wiener. Im Werk des Naturwissenschaftlers und Philosophen Hermann Schmidt (1894–1968)[249] findet sich ein Aufsatz aus dem Jahr 1941 über ‹Regelungstechnik›, der sieben Jahre vor der Veröffentlichung von Wieners ‹Kybernetik› mit den ‹drei Kategorien der Weltbeschreibung› operiert. Dieser handelt unter anderem von einer «dreistufigen Objektivation der Arbeit», der die Relevanz der Steuerung und Kontrolle von Systemen hervorhebt: «Wir können nach dem verschiedenen Grad der Zweckerfüllung durch das technische Objekt drei Stufen der Entwicklung unterscheiden: 1. die des Werkzeugs, 2. die der Kraft- und Arbeitsmaschine und 3. die des geregelten Systems, des Automaten.»[250]

---

247 Ropohl 1979, S. 181

248 Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments, Artikel 2a :
«Ferner bezeichnet der Ausdruck ‹Maschine› eine mit einem anderen Antriebssystem als der unmittelbar eingesetzten menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines bzw. eine beweglich ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind [...].»

249 nach Fasol 2001, S. 138ff.
1938 hielt Schmidt regelungstechnische Vorlesungen an der TH Berlin, wo er seine disziplinübergreifende ‹Allgemeine Regelkreislehre› entwickelte, die weitgehend dem späteren Begriff der Kybernetik entsprach. 1939 rief er den VDI-Fachausschuss Regelungstechnik ins Leben und veranlasste das erste regelungstechnische Richtlinienwerk. 1941 begründete Schmidt einen Lehrstuhl für Regelungstechnik an der TH Berlin; siehe dazu die entsprechende Denkschrift in Schmidt 1961.
Ähnlich wie bei dem Computerpionier Konrad Zuse kann die politische Selbstisolation Deutschlands in den 1930er und 1940er Jahren für die Wirkungslosigkeit dieser Schriften verantwortlich gemacht werden.

250 Schmidt 1965, S. 39 (in: Schmidt, Hermann. Der Mensch in der technischen Welt.
in: Physikalische Blätter 1953, Heft 7), vgl. auch Schmidt 1954 und Schmidt 1941, S. 87:
«Nehmen wir als Beispiel für diese Entwicklung die technische Lösung des Problems des Fliegens. Auf der ersten Stufe

Dabei grenzt Schmidt das Werkzeug von der Maschine durch den Ersatz der menschlichen Kraft durch eine externe Kraftmaschine ab, während der Automat sich gegenüber der Maschine durch ‹selbsttägige Steuerung› auszeichnet. Mit der «Ausschaltung des Menschen aus dem Wirkungszusammenhang mit der Maschine»[251] erreicht für Schmidt die Technik «das Stadium ihr methodischen Vollendung»[252].

Arnold Gehlen

Der Soziologe und Philosoph Arnold Gehlen (1904–1976) greift Schmidts ‹dreistufige Objektivation der Arbeit› auf und nutzt sie – in Anlehnung an Johann Gottfried Herder (1744–1803)[253] – zur Entwicklung einer ‹Institutionenlehre› oder auch ‹Mängelwesentheorie›: Der Mensch sei anderen Lebewesen gegenüber mit physischen Mängeln ausgestattet und könne sein Überleben nur durch die Entwicklung der Kultur und ihrer Institutionen sichern. Daraus leitet Gehlen die «Notwendigkeit der Technik aus den Organmängeln des Menschen»[254] her (auch ‹Organmängeltheorie›): «Erst werden nur Organleistungen verstärkt, übertrumpft, verbessert und entlastet. Dann der physische Krafteinsatz als solcher: die organische (menschliche oder tierische) Kraft wird der unbelebten Natur aufgebürdet. In dem dritten, gerade jetzt fälligen Schritt objektiviert man den Handlungskreis selbst, einschliesslich seiner bewussten Zwischenglieder der Kontrolle und Steuerung.»[255]

Ladislav Tondl

Der tschechische Technikphilosoph Ladislav Tondl stellt 1964 eine idealtypische Einteilung

schafft sich der Mensch ein Werkzeug zum Fliegen, die Schwingen des Dädalus und Ikarus. Der Aufwand an Kraft, der zum Fliegen notwendig ist, und der Aufwand auch an Geist zur Einhaltung des Gleichgewichts eines bestimmten Kurses ist ausschliesslich Sache des Subjekts, objektiviert ist nur das Werkzeug, das den Zweck nur mit Hilfe des Menschen erfüllt.
Auf der zweiten Stufe, dem Motorflugzeug, ist auch die Kraft zum Fliegen objektiviert; der Grad der Zweckerfüllung durch das technische Objekt ist gestiegen
Auf der dritten Stufe des selbstgesteuerten und stabilisierten Flugzeugs ist aller Aufwand des Subjekts objektiviert; der Zweck des Fliegens ist durch das selbsttätig gesteuerte und stabilisierte Flugzeug vollständig erfüllt, das Subjekt ist aus dem Bereich der für die Erfüllung des gesetzten Zweckes notwendigen Mittel vollständig ausgeschieden. Das technische Objekt ist vollständig, das es den gesetzten Zweck selbsttätig ohne Zutun des Subjekts erfüllt. So ist die den Akt der Objektivierung abschliessende Regelungstechnik die methodische Vollendung der Technik.»

251 Schmidt 1965, S. 31

252 Schmidt 1965, S. 38
«Auf der Stufe des Automaten erreicht die Technik in unserem Zeitalter das Stadium ihrer methodischen Vollendung, in ihr ist das Innere, die Denken und Tun umfassende Handarbeit des Menschen zu einem äusseren, dem Automaten geworden. Die Entwicklung ist abgeschlossen; es kann keinen technischen Schritt über die automatisierte Zweckerfüllung hinaus geben; das heisst aber nicht, dass die Technik zuende sei, und es heisst auch nicht, dass wir in theoretischer Hinsicht bei der Feststellung des Tatbestandes der technischen Objektivation der Arbeit stehen zu bleiben hätten. Im Gegenteil: nach der geistigen Potenz dieses technischen Tatbestandes geht die Frage. Die in der mechanischen Vollendung der Technik erreichte Cäsur in dem Gang des Menschen durch die Zeit ist nicht nur ein Ende der bisherigen Universalgeschichte des Menschen, sondern der Anfang einer Epoche, in die der Mensch mit neuem, gewandelten Selbstbewusstsein eintreten wird.»

253 Herder, Johann Gottfried. Abhandlung über den Ursprung der Sprache.
Dissertation, Königliche Academie der Wissenschaften, Berlin 1772

254 Gehlen 1957, S. 8

255 Gehlen 1957, S. 20

der technischen Geräte vor. Diese ordnet er unterschiedlichen historischen Epochen zu, indem er jeweils den Anteil der Arbeit, die der Mensch selbst ausführt, mit dem Arbeitsanteil der technischen Hilfsmittel vergleicht. Ein technisches Gerät bezeichnet Tondl als zweckbestimmten, vom Menschen geplanten Austausch von Stoff, Energie und Information. Er unterscheidet die technischen Geräte in 1) das Werkzeug , 2) die Maschine (im klassischen Sinne)[256] und 3) den Automaten. Im technischen System ‹Werkzeug› bilde der Mensch selbst die Energiequelle, die Antriebskraft und die Informationsquelle. Der Mensch setze ein Werkzeug zwischen sich und Objekte in der Natur, um sie entsprechend seinen Bedürfnissen umzuformen.
Die Maschine grenzt Tondl vom Werkzeug durch den Ersatz der physischen Leistung des Menschen durch externe Energiequellen ab[257]. Dazu zählt er sowohl regenerative Energien wie Wind- und Wasserkraft als auch die Zugkraft von Tieren. Eine höhere Entwicklungsstufe dieses Typs nutzt durch Stoffumwandlung freigesetzte Energie, wobei Tondl die Veränderungen durch den Einsatz der Dampfmaschine hervorhebt. Für diese Maschinen ist also der Mensch nicht mehr die Energiequelle, aber er stellt noch die Informationsquelle dar.
Den Unterschied zwischen Automat und Maschine definiert Tondl durch den Ersatz der intellektuellen Leistung des Menschen von Kontrolle und Entscheidung. Als Beispiele für einen Automaten führt er den sich vollständig selbst steuernden Fliehkraftregler Watts an, während ein Computer mit von Menschen vorbereiteten Programmen gefüttert werden müsse und dadurch einen geringeren Grad an Automation aufweise.[258]

Günter Spur
Die idealtypische Einteilung Schmidts und Tondls vertritt ebenso der Ingenieurwissenschaftler Günter Spur (*1928), der 1993 diagrammatisch eine Entwicklung der Technik in Instrumentalisierung (Entkopplung von Handberührung), Mechanisierung (Entkopplung von Körperkraft) und Automatisierung (Entkopplung von Bedienung) unterscheidet[259].
1972 hatte Spur als vierte Stufe zusätzlich den Begriff des ‹Optimat› eingeführt, der bei allen anderen Autoren unter den Automatenbegriff fällt. Als Beispiel nennt Spur wiederum den Watt'schen Fliehkraftregler. Durch ein adaptives Regelungssystem kann der Optimat durch Feedback programmierte Steuerungsparameter selbsttätig so abändern, dass der Fertigungsprozess ständig in einen optimalen Bereich geführt wird[260].

---

256 als klassische Maschine bezeichnet Tondl die Maschine nach Marx 1890, S. 393

257 Tondl baut zwar seine Argumentation auf Marx auf, interpretiert ihn aber falsch, wenn er die Maschine vom Werkzeug durch den Ersatz der physischen Leistung des Menschen durch externe Energiequellen abgrenzt, vgl. Marx 1890, S. 394: «Ob die Triebkraft nun vom Menschen ausgeht oder selbst wieder von der Maschine, ändert am Wesen der Sache nichts.»

258 Tondl 1974, S. 9-11
Das Original in tschechischer Sprache ist bereits zehn Jahre früher erschienen: Tondl, Ladilav. 1964. Slovo o filosofii techniky, in: Filosofický časopis 12/1964, S. 281–293

259 Spur 1993, S. 28

260 Spur 1972, S. 29f
1. Im handwerklichen Fertigungssystem werden dem Wirkpaar die Energie sowie alle notwendigen Infor-

Technisierungsstufe Zäsur	*1 Ausgangslage*	*2 Übertragung Energie Mensch → Maschine*	*3 Übertragung Information Mensch → Maschine*
Dolezalek und Ropohl 1967b	handwerkliche Arbeit: Unterstützung der Hand durch ein Werkzeug	technisierte handwerkliche Arbeit: Antriebsfunktion übernimmt technische Einrichtung	automatisierte Maschinenarbeit: Mensch ist im Fertigungsprozess entbehrlich
Schmidt 1941 ‹dreistufige Objektivation der Arbeit›	Werkzeug	Kraft- und Arbeitsmaschine: Ersatz der menschlichen Kraft durch eine externe Energiequelle	Automat: Ersatz von Steuerung und Kontrolle
Gehlen 1957 ‹Organmängeltheorie›	Verstärkung von Organleistungen	Ersatz der physischen Kraft	Ersatz von Steuerung und Kontrolle
Tondl 1974	Werkzeug	Maschine (im klassischen Sinn): Ersatz der physischen Leistung des Menschen durch externe Energiequellen	Automat: Ersatz intellektueller Leistung des Menschen von Kontrolle und Entscheidung
Spur 1972 / 1993	Instrumentalisierung: Entkopplung von Handberührung	Mechanisierung: Entkopplung von Körperkraft	Automatisierung: Entkopplung von Bedienung

Tabelle 6: *Bezeichnungen der Zäsuren (zu den ausführlichen Definitionen Ropohls vgl. Abschnitt 2.3.3)*

Zusammenfassung

Vergleichen wir die Periodisierungen von Schmidt, Gehlen, Tondl und Spur, können wir folgendes feststellen:

— Übertragung der Eingangsgrössen Energie und Information: Durch das einheitliche Unterscheidungskriterium zeigen die vier Arbeiten wesentliche grössere Übereinstimmungen als die einführend vorgestellten technikgeschichtlichen Periodisierungen. Obwohl nicht alle Autoren explizit die Begriffe ‹Energie› und ‹Information› gebrauchen (Tabelle 6), sind sie sich einig bei der Unterteilung anhand der Übertragung der Eingangsgrössen in ein technisches System: Alle Modelle beginnen bei der Werkstoffbearbeitung durch ein von Hand geführtes Werkzeug. Der Ersatz menschlicher Kraft (Energie) bzw. menschlicher Steuerung (Information) durch eine technische Einrichtung ist die Basis der Gliederung

mationen unmittelbar durch den Menschen vermittelt. Das handwerkliche Fertigungssystem besteht somit aus Mensch, Werkzeug und Werkstück.

2. Ein wesentlicher Bestandteil m e c h a n i s i e r t e r F e r t i g u n g s s y s t e m e ist die Werkzeugmaschine. Die Arbeitsabläufe sind mechanisiert, d.h. der Mensch ist weitgehend von der schweren körperlichen Arbeit befreit, muss aber weiterhin die Fertigungsinformationen an die Maschine übermitteln. Ein mechanisiertes Fertigungssystem umfasst Mensch, Maschine, Werkzeug und Werkstück.

3. A u t o m a t i s i e r t e F e r t i g u n g s s y s t e m e sind Werkzeugmaschinen, die mit Informationsspeichern ausgestattet sind. Ist das Fertigungsprogramm im Speicher aufgenommen, kann es selbsttätig abgerufen werden und den Fertigungsprozess steuern. Der Mensch übt – nachdem er das Fertigungsprogramm erstellt hat, eine überwachende Funktion aus. Das automatisierte Fertigungssystem ist durch den Begriff Automat gekennzeichnet. Es besteht aus Speicher, Steuerung, Maschine, Werkzeug und Werkstück.

4. O p t i m i e r e n d e F e r t i g u n g s s y s t e m e können aufgrund einer vorgegebenen Strategie programmierte Steuerungsparameter selbsttätig so abändern, dass der Fertigungsprozess ständig in einen optimalen Bereich geführt wird. Dazu ist ein adaptives Regelungssystem mit einer hochentwickelten Informationsverarbeitung sowie ein Prozessrechner notwendig. Ein solches Fertigungssystem ist durch den Begriff Optimat gekennzeichnet und besteht aus Prozessrechner, Speicher, Regelung, Maschine, Werkzeug und Werkstück.

in die drei Fertigungssysteme Werkzeug, Maschine und Automat. Nach dem Schema von Dolezalek und Ropohl 1967 wären dies die Stufen drei ‹Handwerkliche Arbeit›, ‹Technisierte handwerkliche Arbeit› und ‹Automatisierte Maschinenarbeit›.

— Verankerung an einer Zeitachse: Die Verankerung der drei Techniken entlang einer Zeitachse wird flüchtig oder gar nicht vorgenommen. Tondl sieht in den Techniken «abstrahierte historische Typen»[261]. Die anderen Autoren unterlassen eine historische Einordnung gänzlich, sowohl zeitlich als auch eine Überprüfung an Fallbeispielen. Dies fällt besonders auf im Kontext zum vorhergehenden Kapitel mit seiner enormen Bandbreite von Periodisierungen nach kunstgeschichtlichen, wirtschaftsgeschichtlichen, energietechnischen, umweltgeschichtlichen, lösungsfindungsorientierten und soziokulturellen Kriterien, die aber wiederum Schwächen im Kriterium der gegenseitgen Abgrenzung zeigten.

2.3.5 Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik: Periodisierung nach Übertragung der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück

Eine zweite Gruppe von Autoren betrachtet ebenfalls Fertigungstechnik als ein System, sieht aber die nicht die Übertragung von Energie und Information vom Menschen auf eine technische Einrichtung als ausschlaggebend für historische Umwälzungen, sondern fokussiert die ‹Relativbewegung› zwischen Werkzeug und Werkstück. Dieses Unterscheidungskriterium ist in verschiedenen Standardwerken auf Grundlage des Normenentwurfs zu DIN 69651 Werkzeugmaschinen[262] zu einer aktuellen Maschinendefinition geworden.

Karl Marx

Als Fundament der Unterscheidung mit dem Fokus ‹Relativbewegung› soll Karl Marx' (1818–1883) Erstausgabe des ‹Kapital› von 1867 dienen. Marx beabsichtigt mit dem ‹Kapital› sicher keine umfassende Darstellung der Technik, sondern letztendlich die Initiierung revolutionärer gesellschaftlicher Veränderungen. Marx versteht sich in erster Linie als Politiker, nicht als Technikhistoriker[263]. Zu seiner umfassenden Analyse der kapitalistischen Gesell-

261 Tondl 1974, S. 11
«The three concepts: ‹tool› – ‹machine (of the classical type)› – ‹automaton› – cover, in a simplified and abbreviated form, the basic forms of technology and are at the same time historical types. But once again it must be stressed that, really, these types exist in an absolutely pure form only in the abstract. In practice it is of importance to distinguish that sphere of technology which replaces the physical efforts of man (the sphere of mechanization), and that sphere which replaces the intellectual functions of man, the functions of control and decision-making (the sphere of automation).»

262 DIN 69651 Teil 1 bis 6: Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung. Berlin : Beuth 1985 (gegenwärtig Entwurf, z.T. Vornorm), zitiert beispielsweise in Weck und Brecher 2006, S. 15, Dubbel [et al.] 2007, S.T 1
Werkzeugmaschinen «sind mechanisierte und mehr oder weniger automatisierte Fertigungseinrichtungen, die durch relative Bewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück eine vorgegebene Form oder Veränderung am Werkstück erzeugen.»

263 Paulinyi 1998, S. 17:
«Sein Hauptinteresse lag in der Einschätzung der Auswirkungen dieser Technik auf die Umwälzung des kapitalistischen Produktionsprozesses und im Zusammenhang damit in den Auswirkungen auf die Veränderung der Stellung des Lohnarbeiters

schaft zählt aber auch eine fundierte Abgrenzung von Werkzeug und Maschine, für die er sich intensiv dem Studium technikgeschichtlicher Literatur widmet[264].

Im 13. Kapitel des Kapital stellt Marx die ‹Entwicklung der Maschinerie› dar[265]. Er weist darauf hin, dass eine Unterscheidung zwischen Werkzeug und Maschine nach Art ihrer Energiequelle zu bizarren Zuordnungen führen würde, wenn das Kriterium entsprechend den im Kapitel 2.3.4 vorgestellten Arbeiten der Ersatz der menschlichen Muskelkraft durch eine Naturkraft oder Bewegungsmaschine (Kraftmaschine) wäre[266]: «Danach wäre ein mit Ochsen bespannter Pflug, der den verschiedensten Produktionsepochen angehört, eine Maschine, Claussens Circular Loom, der von der Hand eines einzigen Arbeiters bewegt, 96.000 Maschen in einer Minute verfertigt, ein blosses Werkzeug. Ja, derselbe loom wäre Werkzeug, wenn er mit Hand, und Maschine, wenn mit Dampf bewegt.»[267].

Nach Marx besteht jede Maschine aus drei Teilen, «der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine»[268] – aus Sicht der Konstruktionsmethodik ein technisches System mit drei Teilfunktionen. Als ausschlaggebend

im Produktionsprozess.»

264 Brief an Friedrich Engels vom 13.10.1851, MEW Bd. 27, S. 359, zitiert in Troitzsch und Wohlauf 1980, S. 60:
«Ich habe übrigens in der letzten Zeit auf der Bibliothek [...] hauptsächlich Technologie, die Geschichte derselben, und Agronomie geochst, um wenigstens eine Art Anschauung von dem Dreck zu bekommen.»

265 Paulinyi 1998, S. 8
«Die Bedeutung dieses Kapitels liegt in der auch durch Aneignung dezidierter Kenntnisse ermöglichten Analyse der Maschinentechnik und in dem von einem Ökonomen und Sozialkritiker wohl zum ersten Male geleisteten Versuch, das technische Prinzip dieser Maschinentechnik zu erkennen und die Kausalbeziehungen ihrer Entstehung und Entfaltung herauszuarbeiten.»

266 Wilhelm Schulz, Die Bewegung der Produktion, Zürich 1843, zitiert in Marx 1890, S. 392
«Von diesem Gesichtspunkt aus lässt sich denn auch eine scharfe Grenze zwischen Werkzeug und Maschine ziehen: Spaten, Hammer, Meissel usw., Hebel- und Schraubenwerke, für welche, mögen sie übrigens auch so künstlich sein, der Mensch die bewegende Kraft ist ... dies alles fällt unter den Begriff des Werkzeugs; während der Pflug mit der ihn bewegenden Tierkraft, Wind- usw. Mühlen zu den Maschinen zu zählen sind.»

267 Marx 1890, S. 392
vgl. dazu Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 198:
«Ein gemeinsames Merkmal aller Maschinen der Baumwollspinnerei war, dass nicht nur alle ‹Prototypen› auf Handantrieb ausgelegt waren, sondern auch die in den Betrieben benutzten Maschinen vorerst mit Handantrieb eingesetzt wurden. Das gilt für Hargreaves ‹Jenny›, Cromptons ‹Mule›, die Vorspinnmaschine ‹Billy› und für die Kardiermaschinen. Nur die Arkwrights-chen Spinnmaschinen sind in der Praxis von Anfang an mit Kraftmaschinen betrieben worden – erst mit Göpeln, später mit Wasserrädern.»
Paulinyi 1982 S. 236ff beschreibt detailliert, wie die schrittweise Übertragung der einzelnen manuellen Arbeitsschritte des Baumwollspinnens auf mechanische Vorrichtungen bewältigt wurde

268 Marx 1890, S. 393:
«Alle entwickelte Maschinerie besteht aus drei wesentlich verschiedenen Teilen, der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine. Die B e w e g u n g s m a s c h i n e wirkt als Triebkraft des ganzen Mechanismus. Sie erzeugt ihre eigene Bewegungskraft, wie die Dampfmaschine, kalorische Maschine, elektro-magnetische Maschine usw., oder sie empfängt den Anstoss von einer schon fertigen Naturkraft ausser ihr, wie das Wasserrad vom Wassergefälle, der Windflügel vom Wind, usw.
Der T r a n s m i s s i o n s m e c h a n i s m u s , zusammengesetzt aus Schwungrädern, Treibwellen, Zahnrädern, Kreiselrädern, Schäften, Schnüren, Riemen, Zwischengeschirr und Vorgelege der verschiedensten Art, regelt die Bewegung, verwandelt, wo nötig, ihre Form, z.B. aus einer perpendikulären in eine kreisförmige, verteilt und überträgt sie auf die Werkzeugmaschinerie. Beide Teile des Mechanimus sind nur vorhanden, um der W e r k z e u g m a s c h i n e die Bewegung mitzuteilen, wodurch sie den Arbeitsgegenstand anpackt und zweckgemäss verändert. Dieser Teil der Maschinerie, die Werkzeugmaschine, ist es, wovon die industrielle Revolution im 18. Jahrhundert ausgeht.»
nach Paulinyi 1998 ist diese Dreiteilung keine Erfindung Marx, sondern auf die Arbeiten von Babbage 1833, S. 16 und 174 sowie Ure 1835 zurückzuführen.

für die industrielle Revolution in England sieht Marx nicht die Potenzierung der zur Verfügung stehenden Energie der Bewegungsmaschine durch die Dampfmaschine, sondern die Schöpfung der Werkzeugmaschine[269]: «Die Werkzeugmaschine ist also ein Mechanismus, der nach Mitteilung der entsprechenden Bewegung mit seinen Werkzeugen dieselben Operationen verrichtet, welche früher der Arbeiter mit ähnlichen Werkzeugen verrichtete. Ob die Triebkraft nun vom Menschen ausgeht oder selbst wieder von einer Maschine, ändert am Wesen der Sache nichts»[270].

Der Ersatz der menschlichen Triebkraft durch eine Maschine wird erst in einem zweiten Schritt notwendig, um den Umsatz weiter steigern zu können: «Die Erweiterung des Umfangs der Arbeitsmaschine und der Zahl ihrer gleichzeitig operierenden Werkzeuge bedingt einen massenhafteren Bewegungsmechanismus, und dieser Mechanismus zur Überwältigung seines eignen Widerstands eine mächtigere Triebkraft als die menschliche […].»[271] Der Bedarf von Kraftmaschinen wie der Dampfmaschine entsteht also erst durch den Energiebedarf der neuen Werkzeugmaschinen. Ohne die Energiezufuhr einer Kraftmaschine kann die Werkzeugmaschine und ihr Umsatz nicht wachsen und bleibt «zwergmässig»[272]. Energie wird hier als ein Skalierungsfaktor verstanden, der die Werkzeugmaschinen ihr Potential ausspielen lässt. Sowohl die Einführung der Werkzeugmaschine als auch der Kraftmaschine betrachtet Marx als Übertragung von Teilfunktionen vom Menschen auf eine technische Einrichtung[273].

---

269 Marx 1890, S. 394ff:
«An vielem Handwerkszeug besitzt der Unterschied zwischen dem Menschen als blosser Triebkraft und als Arbeiter mit dem eigentlichen Operateur eine sinnlich besonderte Existenz. Z.B. beim Spinnrad wirkt der Fuss nur als Triebkraft, während die Hand, die an der Spindel arbeitet, zupft und dreht, die eigentliche Spinnoperation verrichtet. Grade diesen letzten Teil des Handwerksinstruments ergreift die industrielle Revolution zuerst und überlässt dem Menschen, neben der neuen Arbeit die Maschine mit seinem Auge zu überwachen und ihre Irrtümer mit der Hand zu verbessern, zunächst noch die rein mechanische Rolle der Triebkraft. Werkzeuge dagegen, auf die der Mensch von vornherein nur als einfache Triebkraft wirkt, wie z.B. beim Drehn der Kurbel einer Mühle, bei[m] Pumpen, beim Auf- und Abbewegen der Arme eines Blasebalgs, beim Stossen eines Mörsers etc., rufen zwar zuerst die Anwendung von Tieren, Wasser, Wind als Bewegungskräften hervor. Sie recken sich, teilweise innerhalb, sporadisch schon lange vor der Manufakturperiode zu Maschinen, aber sie revolutionieren die Produktionsweise nicht. [...]
Die Dampfmaschine selbst, wie sie Ende des 17. Jahrhunderts während der Manufakturperiode erfunden ward und bis zum Anfang der 80er Jahre des 18. Jahrhunderts fortexistierte, rief keine industrielle Revolution hervor. Es war vielmehr umgekehrt die Schöpfung der Werkzeugmaschinen, welche die revolutionierte Dampfmaschine notwendig machte.»

270 Marx 1890, S. 394, dazu Paulinyi 1987a, S. 138:
«Damit korrigierte Marx die von ihm wie auch von Engels im Einklang mit dem zeitgenössischen Schrifttum der 1830/40er Jahre vertretene Meinung, dernach der Auslöser des technischen Wandels die Dampfmaschine gewesen sei.»

271 Marx 1890, S. 396

272 Marx 1890, S. 403:
«Wie die einzelne Maschine zwergmässig bleibt, solange sie nur durch Menschen bewegt wird, wie das Maschinensystem sich nicht frei entwickeln konnte, bevor and die Stelle der vorgefundnen Triebkräfte – Tier, Wind und selbst Wasser – die Dampfmaschine trat, ebenso war die grosse Industrie in ihrer ganzen Entwicklung gelähmt, solange ihr charakteristisches Produktionsmittel, die Maschine selbst, persönlicher Kraft und persönlichem Geschick seine Existenz verdankte, also abhing von der Muskelentwicklung, der Schärfe des Blicks und der Virtuosität der Hand, womit der Teilarbeiter in der Manufaktur und der Handwerker ausserhalb derselben ihr Zwerginstrument führten.»

273 Marx 1890, S. 398
«Nachdem erst die Werkzeuge des menschlichen Organismus in Werkzeuge eines mechanischen Apparats, der Werkzeugmaschine, verwandelt, erhielt nun auch die Bewegungsmaschine eine selbstständige, von den Schranken menschlicher Kraft völlig emanzipierte Form.»

Franz Reuleaux

Franz Reuleaux (1829-1905) ist eine «der auffälligsten und mächtigsten Persönlichkeiten des wissenschaftlichen Maschinenbaus im 19. Jahrhundert»[274], der durch seine universale Maschinentheorie ‹Kinematik als Erfindungslehre› die Ingenieure seiner Zeit polarisierte. Reuleaux strebt darin an, ein System von Begriffen und Zeichen zu schaffen, um Bewegungsmechanismen nach ihrer inneren Struktur zu klassizifieren[275]. Reuleauxs Arbeit ist ein Grundstein des im Kapitel 2.2.2 behandelten ‹Methodischen Konstruierens›, mit dem Maschinen theoretisch bestimmbar werden sollen[276].

Im Zuge dieser Konstruktionsmethodik definiert Reuleaux eine Maschine wie folgt: «Eine Maschine ist eine Verbindung widerstandsfähiger Körper, welche so eingerichtet sind, dass sie mittelst ihrer mechanische Naturkräfte genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen bestimmte Wirkungen auszuüben.»[277] Die Trennungslinie zwischen Maschine und Gerät liege in der Beschränkung auf bestimmte Maschinenbewegungen durch eine interne Mechanik, die nicht durch den Menschen gesteuert werden können; «einer Bewegung, für die ihm keine Wahl gelassen ist»[278]. Zu den ‹mechanischen Naturkräften›, die diese Bewegungen erhalten, zählen Kraftmaschinen gleichermassen wie Muskelkraft[279].

274 Heymann 2005, S. 51; biographische Angaben siehe Spur 1998, S. 44

275 Heymann 2005, S. 53: «... und nicht, wie bis dahin, nach äusseren Vorgängen der Wandlung von Bewegungen.»

276 Durch diese Zielsetzung gilt Reuleauxs 1875 (Bd. 1) bzw. 1900 (Bd. 2) erschienenes ‹Lehrbuch der Kinematik› heute laut König 1999, S. 39ff als «eines der umstrittensten Werke der technischen Literatur» (vgl. auch Banse 1997, S. 54)
Nach Heymann 2005 S. 55 «repräsentierte Reuleuxs Programm vielmehr den ersten ernstzunehmenden Versuch einer universellen Maschinentheorie, die den enzyklopädischen Charakter bisheriger Maschinenlehren durch eine einheitliche Wissenschaft der Technik und des technischen Schaffens zu überwinden trachtete.»

277 Reuleaux 1900, S. 247; vgl. zu dieser Definition auch den Begriff der ‹zwangsläufig geschlossenen kinematischen Kette› in Reuleaux 1875, S. 49 und die Diskussion des Reuleaux'schen Maschinenbegriffs in Benad-Wagenhoff 1994

278 Reuleaux 1900, S. 238
«Fassen wir alles zusammen, so lauft die Unterscheidung der Dinge zu beiden Seiten der Trennungslinie darauf hinaus, dass beim Spinnrad, dem Handwebstuhl, der Garnwinde und Ähnlichem der Mensch mit seinen Fähigkeiten an Einsicht und Absicht es ist, welcher arbeitet und die mechanische Vorrichtung zu Hilfe nimmt, während bei der von Hand getriebenen ‹Maschine› diese arbeitet und der Mensch zu Hilfe genommen ist, um sie in Bewegung zu setzen und zu halten [...]
Der Mensch tritt mit seiner Muskelkraft im zweiten Falle zu einer B e w e g u n g , f ü r d i e i h m k e i n e W a h l g e - l a s s e n i s t , ebenso ein, wie die rein mechanische Naturkraft, die dem willenlosen Stoff abgewonnen wird, oder auch: mit seiner mechanischen Naturkraft als solcher. Wo der Mensch mehr ist, wo er geistig mit Willensäussserungen, die den Zweck der Vorrichtung verfolgen, mitwirkt, hat das Gebiet des Geräthes begonnen.»

279 Reuleaux 1900, S. 238f
«Das Vorausgehende hat gezeigt, das in den Maschinen B e w e g u n g u n t e r B e s c h r ä n k u n g stattfindet derjenigen nämlich, dass die bewegten Punkte bestimmte Bahnen, Geraden, Kreise, Kurven durchlaufen und, wenn sie an deren Anfangspunkte gelangt sind, immer auf's neue durchlaufen, so lange man sie in Bewegung hält. Das ist eines der Kennzeichen der Maschine [...].
Ein Zweites tritt aber nothwendig ein, das ist die H e r b e i f ü h r u n g u n d E r h a l t u n g d e r B e w e g u n g . [...] Wie diese Vermögenszustände erhalten werden, geht aus der Maschine selbst nicht hervor; was aber den Betrieb der Maschine möglich macht, ist das Zuströmen von Kraft. Diese Kraft ist vermöge der mechanischen Zusammensetzung der Maschine nothwendig eine «mechanische Naturkraft», nicht eine chemische, auch nicht das, was wir eine geistige Kraft nennen [...]
Unter mechanischer Naturkraft ist gemäss den vorhin gemachten Bemerkungen die blosse M u s k e l k r a f t , die zum Betriebe von sonst vollständigen Maschinen dient, mit e i n b e g r i f f e n

Akos Paulinyi

Der slowakische Technikhistoriker Akos Paulinyi (*1929)[280] schliesslich widmet sein wissenschaftliches Werk ab 1978 in zahlreichen Aufsätzen mit jeweils unterschiedlichem Quellenfokus der Abgrenzung von Werkzeug und Maschine[281]. Aus diesen vielen Facetten lässt sich ein umfangreiches und breit abgestütztes Bild zusammenfügen. Paulinyis erklärte Motivation ist es, «das grundlegendste technische Merkmal der technischen Neuerungen in der industriellen Revolution zu bestimmen»[282], um «der Überbewertung der Dampfmaschine für den technischen Wandel entgegenzuwirken»[283]. Ob er dieses nun ‹Basisinnovation›, ‹Periodisierung› oder ‹Revolution›[284] nennt, ist vom Kontext der Veröffentlichung abhängig.

Paulinyi setzt bei der Übertragung von Teilfunktionen auf Maschinen an: «Das Wesensmerkmal der technischen Entwicklung ist also die Übertragung einzelner Funktionen vom Menschen auf technische Vorrichtungen»[285]. Dabei greift er die in Kapitel 2.3.4 vorgestellten Teilfunktionen eines technischen Systems (Grundlage für das sechsstufige Schema der Technisierungsstufen in Tabelle 4) von Günter Ropohl auf[286], nimmt aber eine kleine Veränderung vor: Die Funktionen, die unmittelbar am Treffpunkt von Werkstück und Werkzeug wirken, nennt er «Halten und Führen des Werkzeugs» sowie «Halten und Führen des Werkstücks» (Tabelle 7). Diese Begriffe wiederum stehen in Verbindung zu einer Formulierung des schottischen Maschinenbauers James Nasmyth (1808–1890), dem Erfinder des Dampfhammers. Nasmyth spricht 1841 im Kontext der Werkzeugführung von der «substitution of a mechanical contrivance in a place of the human hand, for holding, applying, and directing the motions of a cutting tool to the surface of the work to be cut.»[287] Damit nimmt Pauliyni einen neuen Gedanken auf. Er fokussiert sich auf die Untersuchung des gemeinsamen Nenners aller stoffgestaltenden Verfahren, nämlich der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, dem sogenannten ‹Wirkpaar›[288]. Die Kernfrage zur Abgrenzung zwischen Maschine und

280 Akos Paulinyi vertrat zwischen 1976 und 1997 das Fachgebiet Technik- und Wirtschaftsgeschichte an der Technischen Hochschule Darmstadt.

281 Paulinyi 1978, 1986, 1987a, 1989, 1990, 1991a, 1991b, 1999.

282 Paulinyi 1990a, S. 304

283 Paulinyi 1990a, S. 302

284 ‹Basisinnovation› in Paulinyi 1978, ‹Periodisierung› in Paulinyi 1990b und ‹Revolution› in Paulinyi 1999a

285 Paulinyi 1999a, S. 16, Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 193

286 Paulinyi 1990a, S. 305

287 Nasmyth, James. Remarks on the Introduction of the Slide Principle in Tools and Machines employed in the Production of Machinery. in: Buchanan, R. Practical Essay on Mill Work and other Machinery. London 1841, S. 393–418, zitiert nach Paulinyi 1998, S. 32. Paulinyi vermutet dort, dass die Formulierung Nasmyths auf Umwegen über eine popularwissenschaftliche Zusammenfassung auch Marx bekannt war.

288 Die früheste Verwendung des Begriffs ‹Wirkpaar› habe ich gefunden bei Kienzle 1952, S. 299
Zur Definition des ‹Wirkpaar› schreibt Wolffgramm 1978, S. 51: «Das Werkzeug und das Wirkmedium einerseits und der Arbeitsgegenstand andererseits bilden das Wirkpaar. Je nachdem, in welchen geometrischen Formen die Wirkstelle ausgebildet ist, spricht man von der Wirkfläche oder dem Wirkraum.»
Der Begriff ist Bestandteil der aktuellen Norm DIN 8580 Fertigungsverfahren.

Werkzeug lautet für Paulyinyi: «Wer oder was bestimmt die Relativbewegung?»[289]
Die Zäsur zwischen Werkzeug und Arbeitsmaschine setzt Paulinyi in der «Übertragung der Funktionen des Haltens und Führens sowohl des Werkstücks als auch des Werkzeugs vom Menschen auf eine technische Vorrichtung»[290], und zwar unabhängig von der Übertragung anderer Teilfunktionen. Nur wenn beide Teilfunktionen des technischen Systems zugleich, die «Funktion des Haltens und Führens sowohl des Werkstücks als auch des Werkzeugs» auf die technische Apparatur übertragen ist[291], darf nach Paulinyi die Arbeitsmaschine ihrem Begriff entsprechend als verwirklicht angesehen werden[292]. Ob die Antriebskraft der Maschine dabei menschiche Muskelkraft oder eine andere Naturkraft ist, spielt für Paulinyi – sich auf Marx[293] und Reuleaux[294] berufend – keine Rolle: Paulinyi zufolge gelten das Hammerwerk mit Wasserantrieb oder ein mechanisch angetriebener Schleifstein noch nicht als Arbeitsmaschinen, sondern als «mechanisiertes Werkzeug»[295]. Nach dem sechsstufigen Schema von Ropohl entspräche dies der zweiten Entwicklungsstufe ‹Technisierte handwerkliche Arbeit›[296].
Für die beiden technischen Systeme führt Paulinyi 1978 die Begriffe ‹Hand-Werkzeug-Technik› und ‹Maschinen-Werkzeug-Technik› ein[297] und gebraucht sie konsistent in wissenschaftlichen Publikationen aus mehr als zwanzig Jahren. Damit umgeht er die Problematik, bestehende und in ihrer Bedeutung diffuse Begriffe wie ‹Maschine› mit einer weiteren Definition zu belegen. Zweck der neuen Terminologie ist letztendlich die systematische Erklärung eines einzigen historischen Phänomens, nämlich der industriellen Revolution. «Die industrielle Revolution ist technologisch nichts anderes als der Übergang von soziotechnischen Systemen der Hand-Werkzeug-Technik zum System der Maschinen-Werkzeug-Technik»[298]. Daher verkörpere nicht die Dampfmaschine, sondern die Werkzeugmaschine die Maschinen-Werkzeug-Technik[299]. Als Vorteil seiner Epochenbildung stellt Paulinyi heraus, dass sie «den

---

289 Paulinyi 1990a, S. 306

290 Paulinyi 1989, S. 22

291 vgl. dazu auch Ropohl 1971, S. 141:
«…für eine abstrakt funktionale Analyse ist es dabei völlig gleichgültig, ob eine vertikale Vorschub- oder Zustellbewegung z.B. beim Fräsen dem Arbeitstisch, also dem Werkstückträger, oder dem Fräskopf als dem Werkzeugträger erteilt wird.»

292 vgl. dazu Wolffgramm 1978, S. 45 den Begriff der Führungsfunktion:
«Führungsorgane (FüO) sind Teilsysteme, die die Freiheitsgrade des Arbeitsorgans, des Wirkmediums, der Wirkenergie oder des Arbeitsgegenstandes einengen und nur die für die Durchführung des technologischen Grundvorgangs notwendigen Relativbewegungen zwischen dem Arbeitsorgan und dem Arbeitsgegenstand zulassen.»

293 Paulinyi 1987a

294 Paulinyi 1978, S. 180

295 Paulinyi 1978, S. 181

296 Dolezalek und Ropohl 1967b, S. 715f

297 Paulinyi 1978; damals allerdings noch unter den Bezeichnungen ‹Handwerkstechnik› und ‹Arbeitsmaschinentechnik›.

298 Paulinyi 1990a, S. 306

299 Paulinyi 1999a, S. 42f:
«Die technische Revolution, die wir unter dem Begriff der industriellen Revolution zu fasssen gewohnt sind, hatte ihr tragendes Element in der massenhaften Einführung von Arbeitsmaschinen in der Stoffgestaltung und konnte das vorher bestehende technische System nur deshalb verändern, weil es durch viele technische Neuerungen auch die Hürde zur Fertigung zur Fertigung von Maschinen schon in den ersten dreissig Jahren des 19. Jahrhunderts überwunden hat.

entscheidenden und bis heute noch bestimmenden Bereich technischen Handelns» (die Stoffformung) in den Mittelpunkt rückt und «die Kausalverbindungen zwischen Stoff, Energie und Information sachgerechter behandeln» lässt[300].

Peter Benje

Peter Benje folgt der Charakterisierung der Werkzeugmaschine seines Doktorvaters Paulinyi, nähert sich aber noch einmal aus einer anderen Richtung der Beschreibung technischen Systems, indem er nicht in zusammenwirkende Teilfunktionen gliedert, sondern zwei Arten von Relativbewegungen unterscheidet: «Letztlich lassen sich in gewisser Weise zwei Relativbewegungen ausmachen, eine der stofflichen Materialumsetzung und eine der gestalthaften Formherstellung», die er als ‹Lastführung› und ‹Formführung› bezeichnet. Diese Relativbewegungen sind in der manuellen Führung eines Handwerkzeugs «noch unmittelbar in eins gesetzt» und werden erst in der Arbeitsmaschine differenziert, da sie unabhängig voneinander betrieben werden können[301]. Das Verlassen des Handwerkzeugs beginnt für Benje bereits «mit dem Auseinandertreten beider Momente» in der Arbeitsmaschine. Ob diese begriffliche Differenzierung wie bei Marx, Reuleaux und Paulinyi eine Zäsur zwischen unterschiedlichen technischen Systeme darstelle, lässt Benje offen.

Zusammenfassung

Die Ansätze von Marx, Reuleaux, Paulinyi und Benje zeigen einige Gemeinsamkeiten:

— Historische Verankerung: Im Gegensatz zur ‹Periodisierung nach Übertragung der Eingangsgrössen› illustrieren die vier Arbeiten zur ‹Periodisierung nach Relativbewegung› ihre Zäsuren anhand von schlüssigen historischen Beispielen und nutzen diese gleichzeitig, um sich von dem Eingangsgrössen-Modell zu distanzieren.

— Nur eine Zäsur: Während sich die ‹Periodisierung nach Übertragung der Eingangsgrössen› mit zwei Zäsuren bzw. drei Perioden beschäftigt, konzentriert sich die ‹Periodisierung nach Relativbewegung› auf den Übergang vom Handwerk zur Industrialisierung. Marx und Reuleaux haben ihre Arbeiten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts verfasst und konnten noch nichts von Informationstechnik ahnen; bei Paulinyi ist dieser Fokus durch seine Spezialisierung auf die ‹Industrielle Revolution› zu erklären.

Zu einem systembestimmenden Element aber konnte sie nur dadurch werden, dass sowohl die Energieversorgung und der Transport, wie auch die Stoffgewinnung, auf neue Grundlagen gestellt wurden. Verwechseln wir die Kausalkette und stellen als vorantreibendes Element die neue Energietechnik (Stichwort Dampfmaschine) heraus, was viele tun, so verwechseln wir mindestens technisch Ursache und Folge. Denn wie schon betont, wächst der Bedarf an der von menschicher Muskelkraft unabhängiger Energie in dem Masse, indem die auf Muskelkraft basierende Hand-Werkzeug-Technik durch Arbeitsmaschinen ersetzt werden kann.»

300 Paulinyi 1999b, S. 105

301 Benje 2002, S. 299f
Auf die Differenzierung der Entwicklungstufen von Dolezalek und Ropohl 1967b, S. 715f geht Benje nicht an, führt aber Paulinyi 1990a im Literaturverzeichnis, wo sich Paulinyi auf Dolezalek und Ropohl bezieht.

Teilfunktionen eines technischen Systems	*Dolezalek und Ropohl 1967b*	*Marx 1890*	*Reuleaux 1900*	*entsprechende Bezeichnung bei Paulinyi 1990a (Gliederung angeglichen an Dolezalek und Ropohl)*	*Benje 2002*
1	Die Arbeitsgruppe, sie bewirkt die unmittelbare Veränderung der Werkstückgestalt und nimmt die Reaktionskräfte auf	Werkzeugmaschine; packt den Arbeitsgegenstand und verändert ihn zweckmässig		a) Halten des Werkzeugs b) Halten des Werkstucks	Relativbewegung Lastführung
2	Die Antriebsgruppe; sie stellt die für die Fertigung nötige kinetische Energie zur Verfügung.	Bewegungsmaschine wirkt als Triebkraft des ganzen Mechanismus	Herbeiführung und Erhaltung der Bewegung	Bereitstellung und Übertragung von Energie (Antrieb)	
3	Die Bewegungsgruppe, sie bestimmt die für den Fertigungsvorgang erforderlichen Relativbewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug	Transmissionsmechanismus regelt die Bewegung und verwandelt ihre Form	Bewegung unter Beschränkung	a) Führen des Werkzeuges b) Führen des Werkstücks	Relativbewegung Formführung
4	Die Steuergruppe; sie liefert und überträgt die für den Fertigungsvorgang unerlässlichen Informationen.			Informationen für den Handlungsvorgang (Steuerung)	
5	Die Mess- und Prüfgruppe, sie stellt die am Werkstück entstandenen Veränderungen fest und kontrolliert den ordungsmassigen Ablauf des Fertigungsvorgangs.			Kontrolle des Handlungsvorgangs (Messen)	
6	Die Werkstückhandhabungsgruppe; sie sorgt für die Ortsveränderung des Werkstücks innerhalb des Fertigungsprozesses und für die richtige Positionierung relativ zum Werkzeug.			Transport (Positionierung) des Werkstücks innerhalb des Handlungsvorgangs	

Tabelle 7: *Vergleich der Bezeichnungen für Teilfunktionen eines technischen Systems bei Ropohl, Marx, Reuleaux und Paulinyi; hervorgehoben sind die Teilfunktionen, die nach Paulinyi ausschlaggebend sind für den Systemwechsel von Hand-Werkzeug-Technik zu Maschinen-Werkzeug-Technik*

Zäsur	*Hauptumsatz der Teilfunktion*	*Dolezalek und Ropohl 1967b*	*Marx 1890*	*Reuleaux 1900*	*entsprechende Bezeichnung bei Paulinyi 1990a (Gliederung angeglichen an Dolezalek und Ropohl)*	*Benje 2002*
1	Stoff	Die Arbeitsgruppe: sie bewirkt die unmittelbare Veränderung der Werkstückgestalt und nimmt die Reaktionskräfte auf.	Werkzeugmaschine, packt den Arbeitsgegenstand und verändert ihn zweckmässig		a) Halten des Werkzeugs b) Halten des Werkstücks	Relativbewegung Lastführung
	Energie	Die Antriebsgruppe: sie stellt die für die Fertigung nötige kinetische Energie zur Verfügung.	Bewegungsmaschine wirkt als Triebkraft des ganzen Mechanismus	Herbeiführung und Erhaltung der Bewegung	Bereitstellung und Übertragung von Energie (Antrieb)	
1	Stoff	Die Bewegungsgruppe: sie bestimmt die für den Fertigungsvorgang erforderlichen Relativbewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug	Transmissionsmechanismus regelt die Bewegung und verwandelt ihre Form	Bewegung unter Beschränkung	a) Führen des Werkzeuges b) Führen des Werkstücks	Relativbewegung Formführung
2	Information	Die Steuergruppe: sie liefert und überträgt die für den Fertigungsvorgang unerlässlichen Informationen			Informationen für den Handlungsvorgang (Steuerung)	
	Information	Die Mess- und Prüfgruppe; sie stellt die am Werkstück entstandenen Veränderungen fest und konstrolliert den ordungsmässigen Ablauf des Fertigungsvorgangs.			Kontrolle des Handlungsvorgangs (Messen)	
	Stoff, Information	Die Werkstückhandhabungsgruppe; sie sorgt für die Ortsveränderung des Werkstücks innerhalb des Fertigungsprozesses und für die richtige Positionierung relativ zum Werkzeug.			Transport (Positionierung) des Werkstücks innerhalb des Handlungsvorgangs	

***Tabelle 8**: These einer zweiten Zäsur und Definition des Hauptumsatzes in den Teilfunktionen der technischen Systeme*

— Begriffsvereinbarung Maschine: Während die Autoren der ‹Periodisierung nach Übertragung der Eingangsgrössen› sich auf das Definieren von Zäsuren konzentriern und für deren Begrifflichkeiten zu recht unterschiedlichen Lösung kommen, geht es in den Arbeiten zur ‹Periodisierung nach Relativbewegung› ebenso um eine schlüssige Definition der (Arbeits)maschine.

Marx hat dabei die vielleicht unsauberste Definition gewählt, denn in seinen drei Teilfunktionen einer Maschine ist die Steuerung der Bewegung nicht der Werkzeugmaschine selbst (die den Arbeitsgegenstand nur packt), sondern dem Transmissionsmechanismus zugeordnet; dennoch gehe die industrielle Revolution von der Werkzeugmaschine aus. Nach Paulinyis Begriffen entspräche dann die Werkzeugmaschine dem ‹Halten› und der Transmissionsmechanismus dem ‹Führen› von Werkstück und Werkzeug. Es ist nicht einleuchtend, das ‹Führen› aus dem Begriff der Werkzeugmaschine auszuklammern (Tabelle 7). Reuleuxs Kernbegriff der Maschine ist die ‹Bewegung unter Beschränkung› entsprechend Paulinyis ‹Führen›; auf das ‹Halten› als Teilfunktion geht er nicht ein. Tabelle 7 zeigt, dass die drei Arbeiten sich in ihrer Gewichtung der Teilfunktionen nicht widersprechen, sondern vielmehr ergänzen.

Nachdem ich nun eingehend über Maschinen gesprochen habe und feststellen musste, dass es mit der eindeutigen Abgrenzung dieses Begriffs nicht weit her sein kann, wenn sich weder die Normen noch die Technikhistoriker darüber einig sind, lohnt es sich an dieser Stelle noch einzuschieben, dass das lateinische ‹machina› bereits einen weiten Weg gekommen und historisch keineswegs konstant in seiner Bedeutung ist: «Das Wort ‹machina› stand in mittelalterlichen Texten nicht für (Arbeits)-Maschinen, sondern für statische Konstruktionen wie Baugerüste oder Belagerungstürme. [...] Eine Bedeutungsverschiebung in Richtung des modernen Maschinenbegriffs zeigt sich erst in Texten, die im Umfeld der Architekten-Ingenieure der Frühen Neuzeit entstanden.»[302]

302 Popplow 1993, S. 7ff

2.3.6 Informations-Werkzeug-Technik oder: die Nutzung des Maschinenbegriffs zur Verortung des Informationsflusses in der Fertigung

Sowohl die Periodisierung nach Übertragung von Eingangsgrössen als auch die Periodisierung nach Übertragung der Relativbewegung betrachten eine technische Handlung als System, zusammengesetzt aus Teilfunktionen. Beide sind in aktuellen Richtlinien bzw. Normen verankert. Bei der Entscheidung, auf welcher Basis ich mein Modell errichte, sprechen zwei Gründe für das zweite Modell, das sich mit der Bestimmung der Relativbewegung als Periodisierungskriterium beschäftigt:

— Die Autoren Marx, Reuleaux, Paulinyi und Benje stützen sich auf historische Bespiele, während die Gruppe Schmidt, Tondl und Spur auf eine solche Verankerung verzichtet.
— Alle Vertreter der Gruppe «Relativbewegung» grenzen sich entschieden und begründet von der Gruppe «Eingangsgrössen» ab. In umgekehrter Richtung geschieht dies nicht; Tondl missversteht sogar Marx' Maschinenbegriff in seiner eigenen Argumentation.

Allerdings beschränkt sich das Schema ‹Relativbewegung› nur auf die Unterscheidung von Handwerk und Maschine. Damit haben wir noch nicht die Informationstechnik der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts abgedeckt. Wie liesse sich das Schema erweitern? Wäre es nicht naheliegend, eine Dreiteilung Werkzeug-Maschine-Automat aus dem ersten Schema mit Hilfe des Periodisidungskriteriums ‹Relativbewegung› aufzubauen?

Mit diesem Gedanken bin ich nicht allein. So schreibt der Technikhistoriker Ulrich Wengenroth 1997: «Ein grosses Defizit der Technikgeschichte im allgemeinen und der Geschichte der Fertigungstechnik im besonderen ist das Fehlen eines angemessenen und akzeptierten Automatenbegriffs. Nachdem Akos Paulinyi mit der begrifflichen Scheidung von Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik sehr viel mehr analytische Klarheit in die Untersuchung der technischen Dimension der Industriellen Revolution getragen hat, trat dieser Mangel besonders deutlich hervor.»[303]

Paulinyi selbst hingegen überschreitet ungern die Grenzen seines Forschungsschwerpunkts[304]. Er deutet aber an, «dass die Technisierung von Funktionen, die für die Realisierung des Wirkprinzips in der Formveränderung von Stoffen zu erfüllen sind, nicht nur gute technologische Kriterien für die Periodisierung der Epoche der Maschinen-Werkzeug-Technik abgeben, sondern auch für die technikhistorische Forschung über das 19. und 20. Jahrhundert neue Anstösse geben können.»[305] Im Schlusswort zu ‹Industrielle Revolution› verweist er im Hin-

303 Wengenroth im Geleitwort zu Ruby 1997, S. 7

304 Paulinyi 1990c, S. 43

305 Paulinyi 1990a, S. 308, vgl. auch Paulinyi 1999a, S. 43:
«Die Entstehung der Elektrotechnik und ihre Fortentwicklung hatte für diese Maschinen-Werkzeug-Technik, ohne die sie nie hätte gerechtfertigt werden können, eine enorme Bedeutung. Durch diese Entwicklung konnten die Funktionen der Informationsvermittlung an die Maschine, die dem Menschen noch weitgehend verblieben war, an technische Gebilde übertragen werden, die diese Funktionen der Kontrolle und Steuerung zweckgerechter und flexibler ausübten, als die rein mechanischen Vorrichtungen, nämlich an elektro-mechanische Komponenten. Dieser Strang der Entwicklung, die Verlagerung weiterer

blick auf Elektronik und Mikroelektronik vorsichtig auf den «Anfang einer neuen Epoche»[306], vermeidet es aber, dieser Epoche einen Namen zu geben und sie in sein Schema zu integrieren. Ich will den Ausblick von Buchhaupt, Haas und Benad-Wagenhoff im Tagungsband zur Eremitierung Akos Paulinyis 1998 als Hypothese meines Beitrags aufgreifen:

«Auf jeden Fall wird es sinnvoll sein, den Maschinenbegriff zur Analyse des Computers zu nutzen und ihn ggf. zu erweitern, anstatt die verbreitete Mythisierung des Computers mitzubetreiben»[307].

Zwei Ergänzungen will ich dazu vornehmen:

— Die Methodik und Begriffe von Marx, Reuleaux, Benje und vor allem Paulinyi sollen aufgegriffen werden, um eine zweite Zäsur und einen entsprechenden Begriff vorzuschlagen.
— Die Eingangsgrössen Stoff, Energie, Information als ‹Grundkategorien der Weltbeschreibung› sollen in die Definition der Zäsuren integriert werden.

Unterscheidung nach Übertragung von Stoff, Energie und Information und das Begriffspaar Hand-Werkzeug-Technik · Maschinen-Werkzeug-Technik – ein Widerspruch?

Die Teilfunktionen eines technischen Systems sind zum einen bei den verschiedenen Autoren unterschiedlich gesetzt (Tabelle 7) und zum andern in heute kaum praxisrelevanten, wenig referenzierten und daher wohl eher selten gelesenen Publikationen veröffentlicht. In Kapitel 2.2.2 dagegen haben wir gesehen, «dass über die Bedeutung der drei Kategorien ‹Stoff›, ‹Energie› und ‹Information› für die Analyse und Synthese technischer Systeme heute weitgehend Übereinstimmung herrscht»[308] und dieses Schema in der aktuellen Literatur zur Fertigungstechnik fest verankert ist.
In Tabelle 8 habe ich daher den in Tabelle 7 diskutierten Teilfunktionen zusätzlich einen Hauptumsatz zugewiesen. Dies scheint mir legitim, denn Paulinyi selbst sieht die Kategorien Stoff, Energie und Information als «Basiselemente jeglicher Technik und jeder technischen Handlung vom Menschwerden bis heute»[309]. An anderer Stelle beschreibt er, dass zur «Ände-

---

Funktionen vom Menschen an technische Systeme, hat sich durch die Elektrotechnik und Mikroelektronik verstärkt. [...] Diese neue Informationstechnik, die N. Wiener 1952 als neue industrielle Revolution bezeichnet, könnte zum Wohl der Menschheit genutzt werden.»
Paulinyi 1989, S. 243

306 Paulinyi 1989, S. 243

307 Buchhaupt 1999, S. 161; vgl. dazu den Begriff der ‹Informationsmaschine› bei Campbell-Kelly und Aspray 2004

308 Füssel 1978, S. 13

309 Paulinyi 1990a, S. 307:
«Stoff, Energie und Information sind Basiselemente jeglicher Technik und jeder technischen Handlung vom Menschwerden bis heute.»
dazu auch Paulinyi 1999a, S. 13.
«In diesem Sinne gab es immer schon eine Energie- und eine Informationstechnik, was dadurch verschleiert ist, dass über lange Zeit hinweg der Mensch sowohl Energieträger und- umwandler, als auch Informationsproduzent, -verarbeiter und -überträger gewesen ist.»

rung der gegenseitigen Position von Werkstück und Werkzeug» die «Bereitstellung und Übertragung sowohl von Energie wie auch von Informationen auf das Wirkpaar»[310] notwendig sei. Dennoch bindet er die drei Kategorien nicht in die konkrete Beschreibung der Zäsur zwischen ‹Hand-Werkzeug-Technik› und ‹Maschinen-Werkzeug-Technik› ein. Benjes Unterscheidung der Relativbewegung in ‹Lastführung› und ‹Formführung› lässt sich schon eher mit einem Umsatz von Energie bzw. Information in Verbindung bringen; insbesondere, wenn wir uns an Weizsäckers Definition von Energie als «das Vermögen, Arbeit zu verrichten»[311] und Information als «Mass der Menge von Form» erinnern.[312]

Die Unterscheidung nach Übertragung der Eingangsgrössen Stoff, Energie und Information vom Menschen auf eine technische Einrichtung stellt also nicht notwendigerweise einen Widerspruch zur Unterscheidung nach Übertragung der Relativbewegung dar. Der Streitpunkt ist vielmehr die Definition der Zäsur zwischen Werkzeug und Maschine bzw. Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik und entzündet sich an der Rolle der Dampfmaschine, also der Bereitstellung von Energie durch eine technische Einrichtung. Diese Wertung lässt sich aber sowohl nach Eingangsgrössen als auch nach Teilfunktionen vornehmen.

Wenn wir den sechs Teilfunktionen Ropohls bzw. Paulinyis in Tabelle 8 die drei Eingangskategorien zuweisen, werden Ropohls ‹Arbeitsgruppe› und ‹Bewegungsgruppe› bzw. Paulinyis ‹Halten› und ‹Führen› von Werkzeug und Werkstück am besten durch den Hauptumsatz von Stoff beschrieben (vgl. Kapitel 2.2.4). Daraus leite ich ab, dass die erste Zäsur zwischen Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik durch die Übertragung des Stoffumsatzes vom Menschen auf eine technische Einrichtung definiert wird.

Die zweite Zäsur und die Rolle der Information

Schmidt, Tondl und Spur schlagen als zweite Zäsur in der Entwicklung der Fertigungstechnik den Automatenbegriff vor. Der Automatenbegriff stellt den Ausschluss des Menschen aus der Tätigkeit der technischen Einrichtung in den Vordergrund, ohne die Teilfunktion ‹Steuerung› zu konkretisieren. So schreibt zum Bespiel der Technikhistoriker Jürgen Ruby 1995: «Die Art der Steuerung, ob mechanisch oder elektronisch, ist […] nicht das Hauptkennzeichen eines Automaten. Sie ist nur das technische Mittel der Veränderung der automatischen Arbeitsweise. Das Hauptkennzeichen ist vielmehr, dass alle Arbeits- und Hilfsbewegungen, die zur Bearbeitung von Teilen nötig sind, von dem Automaten durchgeführt werden und sich dabei

310 PAULINYI 1999a, S. 15:
«Der formverändernde technische Vorgang wird durchgeführt in vorausgeplanten und bestimmten Relativbewegungen zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug, mit denen sich das Einwirken des Werkzeuges auf den Werkstoff realisiert. Im Wesentlichen bedeutet dies eine Änderung der gegenseitigen Position von Werkstück und Werkzeug. Dafür sind die Bereitstellung und Übertragung sowohl von Energie wie auch von Informationen auf das Wirkpaar und eventuell eine Ortsveränderung des Werkstoffes innerhalb des Bearbeitungsprozesses notwendig.»

311 vgl. Kapitel 2.2.2 bzw. RODENACKER 1991, S. 305

312 vgl. Kapitel 2.2.4 bzw. WEIZSÄCKER 1971, S. 347

die Stellung des Menschen zur Maschine geändert hat. Erst wenn die Bearbeitung von Teilen ohne die Mitwirkung des Arbeiters erfolgt – er also bei der unmittelbaren Tätigkeit der Maschine vollkommen ausgeschlossen wird – , dann handelt es sich um einen Automaten» [313]. In diesem Sinne ist jede selbstständig ablaufende technische Einrichtung ein Automat; unabhängig davon, ob sie mit repetitiven Bewegungen identische Produkte fertigt oder mit flexiblen Bewegungen individuelle Produkte herstellen kann. Nach dieser Definition wäre bespielsweise eine mittelalterliche Stampf- und Walkmühle mit fest verbauter Nockenwelle ein Automat[314]. Der Automatenbegriff bedeutet lediglich «selbsttätig ablaufend»; er unterscheidet nicht zwischen reptitiver mechanischer Steuerung und einer hochflexiblen elektronischen Steuerung wie bei einer CNC-Fräse. In diesem Sinn erkennt der Technikhistoriker Markus Haas, dass der Automatenbegriff «genausogut auf die historischen Metallbearbeitungsmaschinen»[315] des 19. Jahrhunderts (also die Maschinen-Werkzeug-Technik) angewandt werden kann und dadurch seinen Wert als Zäsur verliert. Dass die CNC-Maschinen «in gewisser Weise flexibler» sind, wird zwar erkannt, aber kaum herausgestellt[316]. Der Schlüssel zur Definition der zweiten Zäsur liegt meiner Ansicht nach im funktionalen Systemkonzept aus Kapitel 2.2.4: Die dort dargestellte ‹Black Box› repräsentiert die technische Einrichtung selbst; die drei Eingangsgrössen Stoff, Energie und Information sind dagegen nicht Bestandteil der technischen Einrichtung, sondern veränderbare Ströme. Das Wesensmerkmal der zweiten Zäsur ist demnach ein variabler Informationsfluss oder ein austauschbarer Informationsträger, dessen Inhalt direkt von einer technischen Einrichtung in Signale umgesetzt wird und diese dadurch steuert. Während die Einrichtungen der Maschinen-Werkzeug-Technik, wenn sie einmal vom Bediener justiert sind, nur repetitive Bewegungsabläufe erlauben, ist der Bewegungsablauf einer durch einen Informationsfluss gesteuerten Maschine variabel. Diese Art von Information ist etwas anderes als die Information, die man in der Hand-Werkzeug-Technik beim Anfertigen eines Artefakts gebrauchte: Während

---

313 Ruby 1995, S. 23, ebenso in Ruby 1997, S. 5
Dolezalek 1966, S. 217 stellt fest
«Automatisierung (englisch. Automation) heisst, einen Vorgang mit technischen Mitteln so einzurichten, dass der Mensch weder ständig noch in einem erzwungenen Rhythmus für den Ablauf des Vorgangs tätig zu werden braucht.»
vgl. den Automatenbegriff in Benad-Wagenhoff 1994, S. 204.
«Bei dieser ‹vollständig automatisierten Maschine› werden während es Bearbeitungsvorganges a l l e Grundfunktionen z u g l e i c h von Mechanismen übernommen, der Arbeiter wird vom Mit-Tun entbunden und damit ‹freigesetzt›. Wenn der Bearbeitungsvorgang und damit die Freisetzung lang genug andauert, kann der Arbeiter z.B. mehrere Maschinen gleichzeitig bedienen, d.h. an ihnen Nebenfunktionen übernhemen wie Handhabung (z.B. Materialnachschub), Werkzeugvorbereitung, Überwachung usw. Darin liegt der enorme ökonomische Effekt von Automatisierung begründet.»

314 Die Nockenwelle wird als bedeutsame technische Voraussetzung für die wirtschaftliche Entwicklung des Mittelalters gesehen. Die Innovation der Nockenwelle ist erstmals belegt im Jahr 962 bei Stampf- und Walkmühlen auf der Apenninenhalbinsel. vgl. Ludwig 1994

315 Haas 1994, S. 209, S. 227.
«Wenn sie keine selbsttätigen Handhabungssysteme für Werkstücke und Werkzeuge besitzen, die sie mit ihrer Umgebung automatisch verknüpfen, sind NC/CNC-Maschinen im Automatisierungsgrad nicht anders zu beurteilen als die mechanischen Futterautomaten des 19. Jahrhunderts.»

316 Haas 1994, S. 227

die Form in der Hand-Werkzeug-Technik in ihren konkreten Ausmassen erst im Augenblick der Fertigung aus dem Rohmaterial heraus entsteht, ohne dass die Eigenschaften der dafür notwendigen Relativbewegungen vorgegeben wären, liegt die Form in der Informations-Werkzeug-Technik bereits präzise und eindeutig als Datensatz aus geometrischen Weginformationen und technischen Schaltinformationen wie Vorschubgeschwindigkeit oder Spindeldrehzahl vor, bevor sie durch die Fertigung materialisiert wird[317]. Die Information ist in einem Speichermedium mit einer eindeutigen Beschreibungssprache auf das spezifische Handlungspotential der technischen Einrichtung abgestimmt, um mit physikalischen Signalen übertragen werden zu können (vgl. Kapitel 2.2.2): sie ist formalisiert. Die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück wird während ihrer Ausführung von diesen Signalen gesteuert, nicht vom Menschen. Im Sinne von Reuleaux wird die ‹Beschränkung der Bewegung› erweitert, und zwar von den festen Bahnen einer ‹zwangsläufigen Relativbewegung› auf ein frei kombinierbares Vokabular formalisierter Bewegungen. Die Trennung von Informationsträger und Maschine ermöglicht eine variable Fertigung mit individuellen Erzeugnissen.
Ob der austauschbare Informationsträger eine mechanisch arbeitende Walze bei einer Spieluhr, eine Lochkarte bei einem mechanischen Jacquard-Webstuhl oder ein digitaler NC-Code mit genormten Funktionen nach DIN 66025 ist, spielt dagegen keine Rolle. Das Stichwort ‹Formalisierung› ist zwar in manchen Definitionen von Automatisierung enthalten[318], das Merkmal der formalisierten Flexibilität durch die Austauschbarkeit des Informationsträgers wird aber nirgends hervorgehoben. Beim Automatenbegriff müssen wir also die gleichen Unsicherheiten wie beim Maschinenbegriff feststellen.
Die zeitgenössischen, meist englischen Begriffe wie CAM (Computer Aided Manufacturing), CNC (Computerized Numerical Control) oder auch ‹File-to-factory›, ‹One-of-a-kind-production› und ‹Digital Fabrication› betonen jeweils Teilaspekte in der anwendungsspezifischen Diskussion um Informationstechnik in der Fertigung. Keiner dieser Begriffe vermag seine Bedeutung in einen gesamtgeschichtlichen Kontext stellen. Sie lassen sich nicht in unsere systematische Einteilung der Fertigungstechnik integrieren, da sie sich nicht mit den Begriffen für ältere Techniken verbinden lassen.

317 Drechsler und Weibel 1992: S. 67.
«Die ‹brennende› Frage lautet demnach: Früher (seit Platon und noch vorher) ging es darum, vorhandenen Stoff zu formen, um ihn zum Erscheinen zu bringen, und jetzt geht es eher darum, einen aus unserer theoretischen Schau und unseren Apparaten hervorquellenden und sich übersprudelnden Strom von Formen mit Stoff zu füllen, um die Formen zu ‹materialisieren›. [...] Das Kriterium für Informationskritik ist jetzt dieses: Wie weit sind die hier aufgedrückten Formen mit Stoff auffüllbar, wie weit sind sie realisierbar? Wie operativ, wie fruchtbar sind die Informationen?»

318 Bohm und Dorn 1988, S. 9–12
«Die Automatisierung als gesellschaftliche Erscheinung die Substitution und Neusetzung manueller und formalisierender geistiger Arbeit durch tiefgreifende Veränderungen aller Produktivkräfte für eine rechnerintegrierte Produktion mit optimalen Masstäben sowie der Lösung des Menschen aus dem unmittelbaren Produktionsprozess bei gleichzeitiger Bedeutungszunahme der menschlichen Arbeit.»

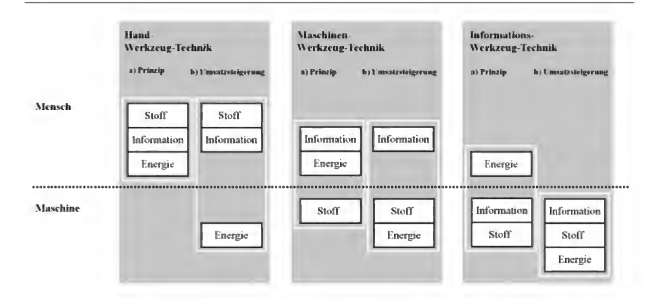


Abb. 6: Darstellung der schrittweisen Übertragung des Umsatzes von Stoff und Information auf eine Maschine. Der Energieumsatz durch einen Menschen oder eine Maschine ist nicht systembestimmend, aber dennoch als zwei Optionen a) Prinzip und b) Umsatzsteigerung aufgeführt.

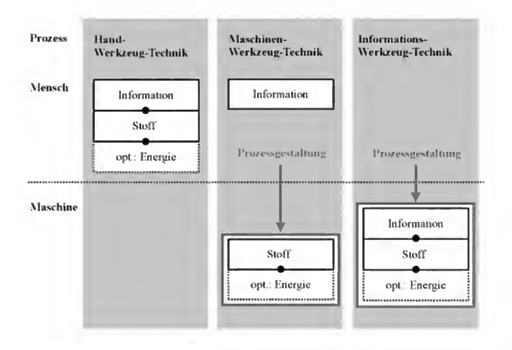


Abb. 7: Vereinfachung des Schemas aus Abb. 6, dass die Auflösung der Einheit von Stoff- und Informationsverarbeitung in der Maschinen-Werkzeug-Technik hervorhebt.

Daher möchte ich einen neuen Begriff einführen. Dieser sollte einerseits mit Paulinyis Begriffen Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik kompatibel sein und andererseits die Rolle der Information als Hauptumsatz reflektieren.
Ich schlage in Anlehnung an Paulinyi den Begriff ‹Informations-Werkzeug-Technik› vor[319].
Informations-Werkzeug-Technik greift auf den etablierten Begriff ‹Informationstechnik› zurück und erweitert ihn um das in der Mitte eingefügte ‹Werkzeug›. Es ist mir ein Anliegen, mit der Einführung dieses Begriffs eine Brücke zwischen den Begriffen der Technikgeschichte und den Begriffen der Informationstechnik zu schlagen.
Ich möchte mit diesem Begriff in keiner Weise behaupten, dass Information (ihre Bereitstellung, ihre Übertragung in Artefakte für und auf technische Handlungen) in der Hand- und Maschinen-Werkzeug-Technik nicht enthalten gewesen wäre. Ebensowenig soll der Begriff implizieren, dass es sich bei den in der Informations-Werkzeug-Technik eingesetzten Geräten nicht um Maschinen handeln würde[320]. Hervorheben möchte ich vielmehr die Zäsur in der Verarbeitung von Information bzw. ihrer Rolle in technischen Prozessen, durch die sie seit Wiener 1948 zur dritten Grundkategorie der Weltbeschreibung und zu einem «expliziten Konzept der Technik»[321] wurde.
Fasse ich kurz die dargestellte Periodisierung der Entwicklung der Fertigungstechnik zusammen, so unterscheide ich drei unterschiedliche Systeme: Hand-Werkzeug-Technik, Maschinen-Werkzeug-Technik und Informations-Werkzeug-Technik. Zwischen diesen Systemen definiere ich nach der Übertragung des Stoff- und Informationsumsatzes vom Menschen auf eine technische Einrichtung zwei Zäsuren. Die dritte Kategorie, die Energie, verstehe ich als Skalierungsfaktor des jeweiligen Umsatzes, so wie ihn Marx, Paulinyi[322] und aktuell im umwelthistorischen Kontext auch Rolf Peter Sieferle[323] beschrieben haben.

---

319 Erstmals publiziert wurde der Begriff Informations-Werkzeug-Technik in Schindler 2008a

320 Dies war ein zentrales Anliegen Akos Paulinyis in unserer Diskussion am 15. Mai 2009 in Darmstadt
Herr Paulinyi schlug daher den Begriff ‹Informations-Maschinen-Werkzeug-Technik› vor.

321 Buchhaupt 2003, S. 277.
«Information ist für Technik von Bedeutung seit Stoffe geformt (informiert) werden.
Aber erst im 20. Jahrhundert wurde Information zu einem expliziten Konzept der Technik.»

322 Paulinyi 1999a, S. 43:
«Denn wie schon betont, wächst der Bedarf an der von menschlicher Muskelkraft unabhängiger Energie in dem Masse, in dem die auf Muskelkraft basierende Hand-Werkzeug-Technik durch Arbeitsmaschinen ersetzt werden kann.»
Marx 1890, S. 396:
«Die Erweiterung des Umfangs der Arbeitsmaschine und der Zahl ihrer gleichzeitig operierenden Werkzeuge bedingt einen massenhafteren Bewegungsmechanismus, und dieser Mechanismus zur Überwältigung seines eignen Widerstands eine mächtigere Triebkraft als die menschliche [. . .].»
vgl. auch Marx 1890, S. 403:
«Wie die einzelne Maschine zwergmässig bleibt, solange sie nur durch Menschen bewegt wird [. . .], ebenso war die grosse Industrie in ihrer ganzen Entwicklung gelähmt [. . .]».

323 Sieferle 2006, S. 20:
«Die Materialien, aus denen sich die organischen und mineralischen kolonisierten Funktionsbereiche zusammensetzen, werden durch den Einsatz von Energie mobilisiert. Dies hat zur Folge, dass der sozialmetabolische Materialdurchsatz insgesamt von der verfügbaren Energiemenge begrenzt wird.»

Zäsur 1: Übertragung des Stoffumsatzes

[Teilfunktionen] Maschinen-Werkzeug-Technik ist «die Übertragung der Funktionen des Haltens und Führens sowohl des Werkstücks als auch des Werkzeugs vom Menschen auf eine technische Vorrichtung»[324].

[Eingangsgrössen] Dabei wird der Umsatz von Stoff durch eine Maschine ausgeführt, um repetitive physische menschliche Leistungen zu ersetzen. Information wird durch einen menschlichen Werkzeugmaschinen-Bediener verarbeitet.

Zäsur 2: Übertragung des Informationsumsatzes

[Teilfunktionen] Informations-Werkzeug-Technik ist die Übertragung der Funktion der variablen Steuerung sowohl der Bewegungen des Werkstücks als auch des Werkzeugs vom Menschen auf eine technische Vorrichtung.

[Eingangsgrössen] Dabei wird der Umsatz von Stoff und Information durch eine Maschine ausgeführt, um formalisierte physische und intellektuelle Leistungen zu ersetzen.

Skalierungsfaktor: Übertragung des Energieumsatzes

Ob die Energie vom Menschen oder einer technischen Einrichtung bereitgestellt wird, bestimmt nicht das Prinzip, aber die Menge des Umsatzes. Dies gilt sowohl für die Maschinen-Werkzeug-Technik als auch für die Informations-Werkzeug-Technik.

Prozessgestaltung und die Rolle menschlicher Arbeit

Einen Punkt darf ich nicht vergessen, wenn ich von der Übertragung von Funktionen vom Menschen auf technische Einrichtung spreche: Der Gesamtarbeitsaufwand für den Menschen nimmt dabei nicht notwendigerweise ab, sondern verschiebt sich zur Gestaltung von Prozessen. Akos Paulinyi stellt dazu grundsätzlich fest, «dass für die Herstellung und Verwendung von Artefakten die menschliche Arbeit, in welchem Ausmass und in welcher Form auch immer, ein unverzichtbarer Faktor ist.»[325] Alle Arbeitsschritte, die notwendig sind, bis eine technische Einrichtung funktionstüchtig ist, sind durch den Menschen erdacht und aufeinander abgestimmt. Ebenso ist deren Unterhalt sowie das Vorbereiten und Koordinieren des Umsatzes von Stoff, Energie und Information eine Leistung des Menschen, nicht der Maschine[326].

---

324 Paulinyi 1989, S. 22

325 Paulinyi 1999a, S. 11

326 Kief 1978, S. 14:
«Der elektronische Roboter, die numerische Steuerung, kann tatsächlich 12 oder auch mehr Menschen stupide, sich wiederholende Arbeiten abnehmen. Er ist schneller, genauer und unermüdlicher. Aber er braucht den Menschen, der ihn programmiert und ihn sinnvoll einsetzt.»

Mit jeder Technikstufe nimmt der Aufwand der Vorbereitung und Abstimmung einer technischen Einrichtung zu. Der Entwicklungsprozess der Fertigungstechnik ist eine «Lösung des Menschen aus dem unmittelbaren Produktionsprozess bei gleichzeitiger Bedeutungszunahme der menschlichen Arbeit»[327]. Diese übergeordnete Koordinationsaufgabe des Menschen bezeichne ich als ‹Prozessgestaltung› (Abb. 7).

2.3.7 Stufe oder Welle?

Zum Schluss dieses Kapitels will ich noch einen Blick darauf werfen, wie die drei Systeme zueinander stehen. Ich habe bisher von ‹Zäsuren›, ‹Epochen› und ‹Perioden› in der Technikgeschichte gesprochen. Diese Begriffe suggerieren, dass es sich um eine Abfolge von Zeitabschnitten mit einem vergleichsweise kurzen Übergang, der Zäsur, handle.
Wenn wir nun nach einem geeigneten Bild suchen, müssen wir beachten, dass die technischen Entwicklungen nicht als Folge aneinandergereihter Schritte betrachtet werden können, da neue technische Entwicklungen sich nicht ersetzen, sondern sich gegenseitig überlappen, verstärken und vervollständigen[328].
Die verschiedenen Techniken existieren nebeneinander, nicht nacheinander. Die Technik, die dem System seinen Namen gibt, ist dabei diejenige, die jeweils die Produktionswirtschaft prägt. So beschreibt auch Akos Paulinyi die Begriffe von Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik als ein Nebeneinander, bei dem in der industriellen Revolution ein Dominanzwechsel erfolgte: Die Maschinen-Werkzeug-Technik tritt nach Paulinyi zum ersten Mal im 1. Jahrhundert v. Chr. auf[329], ohne in den folgenden Jahrhunderten der Hand-Werkzeug-Technik «die führende Rolle im System der Produktionstechnik streitig machen zu können»[330]. In der Industriellen Revolution existiere die alte Hand-Werkzeug-Technik nach

---

327 Böhm und Dorn 1988, S. 9–12

328 vgl. Mumford 1934, S. 109:
«Looking back over the last thousand years, one can divide the development of the machine and the machine civilization into three successive but over-lapping and interpenetrating phases [...].»

329 Paulinyi 1990a, S. 310:
«Die Maschinen-Werkzeug-Technik tritt zum ersten Mal mit der Hand-Drehmühle für Getreide, also in der Zerkleinerung von Stoffen auf. Sowohl bei dem seit dem 1. Jh. v. Chr. mit zunehmender Dichte belegten iberischen Typ wie auch bei dem mitteleuropäischen Typ der Hand-Drehmühle ist das Ergebnis des Mahlvorganges (die Feinheit des Mehles), im Unterschied zu dem Mahlen durch das ebenfalls von Hand ausgeführte Hin- und Herbewegen des oberen Mahlsteines über das Mahlgut auf dem unteren Stein, durch die Konstruktion der Drehmühle vorgegeben ist.»

330 Paulinyi 1999a, S. 27
«Diese Maschinentechnik blieb jedoch ein Produkt der Hand-Werkzeug-Technik und kam nur punktuell zum Einsatz. Sie verdrängte die alte Technik nur in einem einzelnen Subsystem des stoffgestaltenden technischen Handelns, in der Seidenzwirnerei, und dominierte, wenn überhaupt, beim Zerkleinern von Stoffen und in einigen Gebieten der Transporttechnik. Im Ganzen war sie aber neben der Hand-Werkzeug-Technik jahrhundertlang vorhanden, ohne dieser die führende Rolle im System der Produktionstechnik streitig machen zu können.»
vgl. dazu Mumford 1934, S. 110:
«Every period of civilization carries within it the insignificant refuse of past technologies and the important germs of new

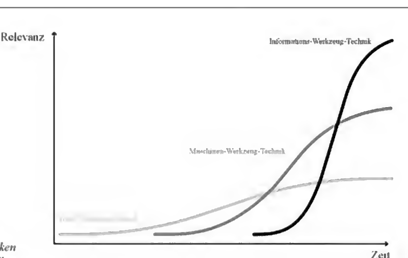


Abb. 8: Die drei Fertigungstechniken verhalten sich zueinander wie Wellen.

wie vor neben der bestimmenden Maschinen-Werkzeug-Technik[331], deren Beherrschen bis tief ins 20. Jahrhundert hinein für Teilbereiche wie die Montage wesentlich bleibe[332].

Wie können wir uns das Verhältnis der drei Systeme vorstellen?

Verschiedene Bilder sind für das Verhältnis zwischen technischen Systemen gebraucht worden: Charles Singer hat das Bild von auf- und absteigenden Kurven gewählt: «Specifically the rise and fall of techniques form curves which do not obviously fit the curves which we conceive to be those of art or those of science. They do not fit until we get to quite modern times.»[333]
Hermann Schmidt schlägt einen stufenartigen Aufbau vor: «Jede folgende Stufe umfasst die vorhergehende und fügt ihr etwas hinzu, die letzte Stufe umfasst den Gesamtverlauf der Technik»[334]. In beiden Bildern sind wichtige Aspekte vertreten: Mit Singers Kurven lassen sich durch verschiedene Steigungen verschiedene Entwicklungsgeschwindigkeiten darstellen. Schmidts sich umfassende Stufen zeigen die Gleichzeitigkeit.
Ein Bild, das beide Aspekte vereint, wären ‹Wellen› von Entwicklungen, ähnlich wie der

ones: but the center of growth lies within its own complex.»

331 Paulinyi 1999a, S. 37:
«Damit soll nicht behauptet werden, dass die Maschinen-Werkzeug-Technik überall und uneingeschränkt alle technischen Handlungen bestimmt hätte. Dies war nicht einmal in der Stoffgestaltung der Fall und schon gar nicht in der Gewinnung von Rohstoffen. [...] Im Gesamtsystem der Produktionstechnik standen also nebeneinander die alte und die neue Technik.»

332 Paulinyi 1999a, S. 35:
«Damit ist die Hand-Werkzeug-Technik aus dem Maschinenbau aber nicht verschwunden. Denn die Werkzeugmaschinen, gleichgültig ob von einem ‹muscular Irishman› oder von einer Kraftmaschine angetrieben, produzierten zwar unter Aufsicht des Arbeiters diverse Bestandteile der künftigen Maschinen. Deren Zusammensetzung aber, die Montage zur funktionsfähigen Kraft- oder Arbeitsmaschine, blieb bis tief in das 20. Jh. hinein hochwertige Handarbeit, ausgeführt mit der alten Hand-Werkzeug-Technik, deren Beherrschen die conditio sine qua non war, um in der Hierarchie der Maschinenbauer nach oben zu kommen.»

333 Singer 1952, S. 12

334 Schmidt 1965, S. 29

Futurologe Alvin Toffler (*1928) seine Einteilung der Gesellschaftsentwicklung in die drei Wellen Agrargesellschaft, Industriegesellschaft und postindustrielle Gesellschaft beschreibt[335] (Abb. 8). Diese Wellen würden flach beginnen, hätten ihre grösste Steigung jeweils dort, wo in der Geschichte eine Zäsur stattfindet, und würden dann horizontal weiterlaufen. Wo diese Zäsuren genau sitzen und welche Auswirkungen sie jeweils auf die Baukonstruktion hatten, wollen wir uns im nächsten Abschnitt anhand der konkreten Geschichte des Holzbaus ansehen.

335 Toffler 1980
Bei Toffler ist die erste Welle die Agrargesellschaft, die zur Kultivierung von Land und zur Gründung von Dörfern und grösseren Siedlungen führte und die Kultur der Sammler und Jäger ersetzte. Die zweite Welle ist die Industriegesellschaft, gekennzeichnet von Massenprodukten und Massenproduktion einhergehend mit Standardisierung, Zentralisierung und Synchronisierung. Die ‹dritte Welle› nennt Toffler in Anlehnung an Bell 1973 die postindustrielle Gesellschaft.

3 Die erste Welle: Hand-Werkzeug-Technik

Wir suchen in den abgeschlossenen Tatbeständen und Prozessen
stets nach unseren eigenen Problemen
und wir beleuchten sie mit der momentan uns einleuchtenden Theorie.
Wie könnte es auch anders sein?
Tom Frank Peters[336]

3.1 Eine Technikgeschichte des Holzbaus

Ich habe im ersten Teil der Arbeit dargestellt, wie die Technikgeschichte und im besonderen die Geschichte der Fertigungstechnik in drei Epochen gegliedert werden kann, die sich jeweils durch ein unterschiedliches Verhältnis der Kategorien Stoff, Energie und Information auszeichnen, aus denen sich jeder Fertigungsprozess zusammensetzt. Die Autoren, auf deren Werke ich bei der Entwicklung einer Ausgangsbasis zurückgegriffen habe, sind Spezialisten aus verschiedensten Bereichen, die das Interesse an der Systematisierung der Technik zur Erklärung gesamtheitlicher Phänomene eint: Maschinenbauer, Technikhistoriker, Physiker, Soziologen, Biologen und Betriebswirtschaftler. Unter den zitierten Verfassern finden sich jedoch weder Architekten noch Bauingenieure. Hat dieses allgemeine technische Schema keine Gültigkeit für die Architektur? Folgt die Bauproduktion etwa anderen Gesetzmässigkeiten?
Im Folgenden will ich die Relevanz der Einteilung von technischen Handlungen nach dem Verhältnis von Stoff, Energie und Information für die Architekturproduktion anhand des Holzbaus überprüfen, um die in Kapitel 1.3 zitierten Worte Ernst von Glasersfelds zu beherzigen, nach denen sich der Wert eines begrifflichen Werkzeug nur im Erfolg seines Gebrauchs bemesse. Eine Füllung unseres formalen Modells mit empirischem Gehalt erscheint umso mehr angebracht, nachdem wir in Kapitel 2 verschiedentlich mit programmatischen Verlautbarungen ohne nachvollziehbare praktische Einbettung konfrontiert wurden.
Meine Zielsetzung ist nicht eine umfassende – geschweige denn vollständige – Darstellung der Geschichte des Holzbaus. Zunächst beschränkt sich der Blickwinkel nur auf fertigungstechnische und baukonstruktive Aspekte und fragt nicht nach funktionalen oder sozialen Bedeutungen der Architektur[337]. Der Schwerpunkt der Beispiele liegt auf dem profanen Holz-

336 Peters 1994, S. 142
337 Dies in Abgrenzung zum Begriff der ‹Hausforschung› nach Bedal 1993, S. 7: «Hausforschung untersucht vor allem

hausbau des westlichen Kulturkreises; der Ingenieurholzbau – an dessen sich verändernden Auffassungen von Tragwerken man sicherlich eine ebenso interessante Geschichte erzählen könnte – wird dabei allenfalls gestreift[338]. Ich greife schlaglichthaft einige Aspekte heraus, um nachvollziehbar zu machen, dass die drei Entwicklungswellen Hand-Werkzeug-Technik, Maschinen-Werkzeug-Technik und Informations-Werkzeug-Technik nicht nur die Werkzeuge und die Produktion, sondern auch die Konstruktion und die Architektur des Holzbaus geprägt haben: Können die wesentlichen technischen und konstruktiven Entwicklungsschritte des Holzbaus auf diese Einteilung zurückgeführt werden?
Die drei Entwicklungsstufen werde ich jeweils nach dem gleichen Schema vorstellen:
Zu Beginn betrachten wir die Art der Werkzeuge, die durch das Verhältnis von Stoff, Energie und Information auf der jeweiligen Entwicklungsstufe entstehen. Anschliessend wird dargestellt, welche fertigungstechnischen Prinzipien sich durch die Anwendung dieser Werkzeuge in der Holzbearbeitung entwickeln. Zuletzt sollen einige Beispiele illustrieren, welche Baukonstruktionen und letztendlich auch architektonischen Ausdrucksformen wiederum aus der Anwendung der Fertigungstechnik entstehen.

3.2 Das ‹hölzerne Zeitalter›

Holz gehört seit den Anfängen menschlicher Kultur, neben Stein, Metall, Keramik und Fasern, allgemein zu den grundlegenden Werkstoffen. Überall dort, wo es vorkommt, war es als Bau-, Werk- und Brennstoff allgegenwärtig. Seine Stellung war gegenüber den anderen Werkstoffen bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts derart dominant, dass der gesamte Zeitraum vielfach als ein ‹hölzernes Zeitalter› bezeichnet worden ist[339]. Dementsprechend ist die Bedeutung der Holzbe- und verarbeitung[340] in der Technikgeschichte der vorindustriellen Zeit,

---

1. ihre bauliche und räumliche Erscheinung und fragt 2. nach ihrer funktionalen und sozialen Bedeutung.»

338 In diesem Sinne verallgemeinert die Überschrift dieses Abschnitts irreführend und müsste eher lauten: ‹Verifizierung eines technikgeschichtlichen Periodisierungsmodells anhand von baukonstruktiven Beispielen aus dem profanen europäischen und nordamerikanischen Holzhausbau.›
Wachsmann 1930 wählt ebenfalls den Holzhausbau als Schwerpunkt, um den unterschiedlichen Vorfertigungsgrad der ‹ortsfesten Fachwerkbauweise› und der‹Tafel- oder Plattenbauweise› deutlich zu machen.

339 Radkau und Schäfer 1987 S. 21 ff., 135 ff., 209 ff., Radkau 1990 S. 349 und 351, Powis Bale 1880 S. B, Hindle 1975, Kebabian 1979, Hindle 1981, Paulinyi 1989 S. 29, Paulinyi 1999, S. 20
Mumford 1934, S. 79. «Wood, then, was the most various, the most shapeable, the most serviceable of all the materials that man has employed in his technology: even stone was at best an accessory. Wood gave man his preparatory training in the technics of both stone and metal: small wonder that he was faithful to it when he began to translate his wooden temples into stone. And the cunning of the woodman is at the base of the most important post-neolithic achievements in the development of the machine. Take away wood, and one takes away literally the props of modern technics.»

340 Die Begriffe ‹Holzbearbeitung› und ‹Holzverarbeitung› werden von verschiedenen Disziplinen unterschiedlich gebraucht. Lohmann 2003 definiert in seinem Holz-Lexikon für die Holzwirtschaft den Unterschied zwischen ‹Holzbearbeitung› und ‹Holzverarbeitung› wie folgt:
«H o l z b e a r b e i t u n g ist ein produzierendes Gewerbe, welches aus Rohholz oder verwertbaren Holzresten aus anderen Produktionsprozessen Holzhalbwaren herstellt als 1. Produktionsstufe, wie beispielsweise Schnittholz, Hobelware, Furniere,

in der die Hand-Werkzeug-Technik die Fertigung bestimmt.
In der Architekturgeschichte nach kunstgeschichtlicher Periodisierung spiegelt sich diese Bedeutung kaum wieder. Ich vermute verschiedene Gründe:

— Vorindustrielle Holzbauten entziehen sich weitgehend einer Einteilung nach kunstgeschichtlichen Stilbegriffen, da sich mit ihnen nur der Teil des Gebauten erfassen lässt, der die jeweiligen Stilelemente anwendet. Dieses Vokabular ist im Holzbau nur in Ausnahmen vertreten[341].
— In vorindustrieller Zeit war Holz zwar ein wichtiges Baumaterial für Wohn- und Nutzbauten, spielte aber bei den kunstgeschichtlich relevanten sakralen und weltlichen Repräsentationsbauten nur eine unsichtbare Nebenrolle als Material für Pfahlgründungen, Fundamente, Gerüste, Dachtragwerke und Innenausbau, obwohl es «bey allen Gebäuden unentbehrlich»[342] war.
— Holzbauten selbst hatten keinen guten Ruf. Im 19. Jahrhundert galten sie als «feuergefährlich», «altmodisch» und «dörflich»[343]. Insbesondere die Brandgefahr war Auslöser, Holzbauweisen aus den europäischen Städten zu verbannen[344] und nur dort einzusetzen, wo es nicht anders ging: als Baumaterial der armen Landbevölkerung.

Sperrholz, Holzfaser- und Holzspanplatten.» Lohmann 2003 Bd.1 S. 551
«H o l z v e r a r b e i t u n g ist ein produzierendes Gewerbe, das die von der Holzbearbeitung (Wertschöpfung am oder nahe am Rundholz) gelieferten Rohstoffe (Schnittholz, Platten) direkt oder in Stufen (Zulieferanten) zum Konsumgut führt.» Lohmann 2003 Bd.1 S. 605
Diese Terminologie steht im Widerspruch zu dem Gebrauch der Begriffe im Ingenieurwesen: «Die Rechtssprache nimmt auf Fertigungsverfahren im allgemeinen unter B e a r b e i t e n bezug, in Unterscheidung zum V e r a r b e i t e n (Verfahrenstechnik) » siehe http://de.wikipedia.org/wiki/Fertigungsverfahren, Zugang im Oktober 2008
Da wir uns dem Periodisierungsschema aus der Perspektive der Fertigungtechnik nähern, sollen in dieser Arbeit die Begriffe in ihrem Sinn gebraucht werden. Wir werden also durchgehend von H o l z b e a r b e i t u n g sprechen.

341 Grossmann 2004, S. 100 beschreibt die Unzulänglichkeit kunstgeschichtlicher Stilbegriffe für den Fachwerkbau:
«Die Entwicklung des Fachwerkbaues in Deutschland ist ab der Mitte des 13. Jahrhunderts gut zu verfolgen, also – um kunstgeschichtliche Stilbegriffe zu vermeiden – seit Beginn des Spätmittelalters. (Letztlich ist auch diese Bezeichnung nur eine Umschreibung für die ‹Gotik›, doch da die Kunstgeschichte mit der Stilbezeichnung mehr erfassen will als nur den zeitlichen Rahmen, ist der Stilbegriff hier – stärker noch als in der Kunstgeschichte selbst – abzulehnen. ‹Gotisches› Fachwerk gibt es nicht, Fachwerk mit gotischen Formen stellt die Ausnahme dar.)»

342 Florin 1722, und weiter:
«Es werden davon Mauren, Brücken, Dachstühle, Durchzüge, Sparren, Tramen, Riemlinge, Fenster-Gestellen und Rahmen, untere und obere Böden, Bretter, Latten und Spindel verfertigt.»

343 Engelhard 1852, zitiert aus Ahnert und Krause 2000, Bd. 1 S. 196

344 Ahnert und Krause 2000, Bd. 1 S. 196.
«Um die Brandgefahr herabzusetzen, wurden in fast allen (deutschen, Anm. d. A.) Bauordnungen des 19. Jahrhundert bei Verwendung von Fachwerk die Bauwerkshöhen begrenzt und bei offener Bauweise Mindestabstände zu anderen Gebäuden vorgeschrieben. In einigen Fällen wurde eine massive Bekleidung der Wandaussenfläche oder zumindest eine ‹feuersichere Verkleidung› der Wandinnenseite gefordert.»
Es folgen entsprechende Auszüge aus der Berliner Bau-Polizei-Ordnung 1860, Bauordnung Berlin 1897 und 1929, Allgemeine Bauordnung für die Landestheile Bayerns rechts des Rheins 1877, Bayerische Bauordnung 1901 und Allgemeines Baugesetz für das Königreich Sachsen 1900.
Nach Junghanns 1994, S. 28 hatte sich Deutschland dadurch zu einem «Land des Steinhauses» entwickelt:
«In Preussen waren 1816 noch über die Hälfte aller Gebäude gänzlich aus Holz und 10 Prozent gemauert, 1883 aber hatte sich das Verhältnis fast umgekehrt: 10 Prozent von Holz und 40 Prozent massiv, den Rest bildeten Bauten in Mischbauweise.» (zitiert nach Bericht über den 1. Allgemeinen Deutschen Wohnungsbaukongress 1904, Göttingen , 1905, S. 173).
vgl. Kraft 2009

Tool	*Stone Age*	*Bronze Age*	*Early Iron Age*	*Greek and Roman*	*Dark Ages*	*Middle Ages*	*1600 to 1800*	*1800 to 1962*
Axe	x	x	x	x	x	x	x	x
Adze	x	x	x	x	x	x	x	x
Knife	x	x	x	x	x	x	x	x
Chisel	x	x	x	x	x	x	x	x
Auger	x	x	x	x	x	x	x	x
Hand-saw		x	x	x	x	x	x	x
Cross-cut saw		x	x	x	x	x	x	x
Bow drill		x	x	x	x	x	x	x
Drawknife			x	x	x	x	x	x
Plane, smooth				x	x	x	x	x
Plane, jack				x	x	x	x	x
Plane, plough				x	x	x	x	x
Plane, moulding				x	x	x	x	x
T-axe					x	x	x	x
Breast auger					x	x	x	x
Brace						x	x	x
Plane, try						x	x	x
Plane, mitre						x	x	x
Plane, shoulder						x	x	x
Saw, fret						x	x	x
Saw, tenon							x	x
Spokeshave							x	x
Marking gauge							x	x
Breast drill								x
Srewdriver								x
Twist bits								x
All-metal planes								x
Metal brace								x

***Tabelle 9**: Entwicklung der Holzwerkzeuge nach Goodman 1964, S. 9*



***Abb. 9**: Neolithische Axt aus Schötz (Luzern), Schweiz. Landesmuseum (Goodman 1964, S. 13)*

Diese Geringschätzung über weite Strecken der Architekturgeschichte soll uns aber nicht davon abhalten, uns dieses Material zum Thema zu machen[345]. Werfen wir nun einen Blick darauf, welche Werkzeuge, Fertigungstechniken und Konstruktionen sich mit der Hand-Werkzeug-Technik im Holzbau verbinden.

3.3 Handwerkzeuge in der Holzbearbeitung

Die Holzbearbeitung mit Hand-Werkzeug-Technik ist so alt wie die Menschheit selbst. Sie setzt ein mit dem Übergang von Jäger- und Sammlerkulturen zu Viehzüchtern und Ackerbauern ungefähr 10.000 v. Chr. in Kleinasien und im Nordosten Afrikas, dem sogenannten ‹fruchtbaren Halbmond›[346]. Der britische Anthropologe Sir John Lubbock (1834–1913) hat für diese Zäsur den Begriff ‹Neolithikum› (Jungsteinzeit) geprägt. Die technische Grundlage für die Kultivierung von Land und die Errichtung fester Behausungen ist aber die Entwicklung von Handwerkzeugen. Dementsprechend definiert Lubbock den Übergang zur Sesshaftigkeit mit dem Auftreten von geschliffenen Steinartefakten[347], die menschliche Arbeitshandlungen bei landwirtschaftlichen und handwerklichen Tätigkeiten wie der Holzbearbeitung erleichtern sollen. Die Holzbearbeitung beginnt also mit der Menschheitsgeschichte; gewissermassen beginnt auch die Menschheitsgeschichte mit der Holzbearbeitung.
Demnach will ich den Beginn unserer Geschichte im Neolithikum ansiedeln. Diese ersten Holzbearbeitungs-Werkzeuge dürfen wir uns allerdings nicht als differenzierte Werkzeuge im heutigen Sinn vorstellen: Die frühen Steingeräte waren zunächst nur einfach gestaltete Faustkeile, die universell zum Schneiden, Schaben und Bohren eingesetzt wurden. Die Ausbildung der heutigen Gestalt der Handwerkzeuge zur Holzbearbeitung beginnt schrittweise mit der

345 Die Geringschätzung des Holzbaus in der Architekturgeschichte wird ab dem 19. Jahrhundert auch im Kontext der Konstruktion von ‹Stammestheorien› (vgl. Huwyler 1996, S. 23f) thematisiert, zum Beispiel für die Schweiz von Graffenried und Stürler 1844, S. 3:
«Es mag vielleicht auffallen, dass diesem kleinen Werke die Aufschrift ‹Schweizerische Architektur› beigelegt wird. Da gewöhnlich unter Architektur grössere steinerne Konstruktionen verstanden werden, so nehmen sich diese bescheidenen hölzernen Wohnungen allerdings etwas fremd unter dieser Benennung aus. Wir glauben aber, dass eine ganz eigentumliche, aus Denkweise, Sitten und Bedürfnissen des Volkes hervorgegangene, mit dem Klima und Charakter des Landes harmonierende, und unstreitig vielfache Motive zur Motive zur Anwendung und Veredelung in sich tragende Bauart billig solche Beachtung verdient, und zwar um so eher, da sich dagegen die städtischen Wohnhäuser in der Schweiz keineswegs in Hinsicht auf eigentümlichen Wert und Charakter mit denjenigen der Gebirgsbewohner messen können.»
oder Lachner 1885, S. V im Kontext des erwachenden Nationalstolzes im Deutschen Kaiserreich:
«Die Geschichte der deutschen Holzarchitektur hat bislang nicht die ihr gebührende Beachtung gefunden, in den Handbüchern der Kunstgeschichte ist dieselbe früher kaum mit einem gelegentlichen Hinweis bedacht [...]. In den Tagen nationaler Begeisterung und gestärkten Selbstbewusstseins musste auch dieser Trieb, sich im eigenen Hause besser umzusehen und dessen Wert würdigen zu lernen, wieder in uns erwachen.»

346 Datierung des Neolithikums nach Diamond 1997

347 Lubbock 1865:
«The later Stone Age, for which I have suggested the term Neolithic, and in which the stone implements are more skilfully made, more varied in form, and often polished.»

Ausdifferenzierung der Werkzeugformen, wie sie der britische Historiker William Louis Goodman in Tabelle 9 dargestellt hat. Von den Handwerkzeugen zur Holzbearbeitung möchte ich stellvertretend nur drei Werkzeuggruppen kurz vorstellen: Äxte/Beile, Sägen und Hobel.

Äxte und Beile

Äxte und Beile zum Fällen von Bäumen und Zerteilen sind nicht nur die ältesten Werkzeug zur Holzbearbeitung, sondern waren auch für lange Zeit die einzigen. Die Abgrenzung zwischen Axt und Beil ist nicht immer eindeutig: Als Beil bezeichnet man im üblicherweise im heutigen Sprachgebrauch eine kleinere, einhändig geführte Form der Axt[348]. Ihre Funktionsweise ist identisch: Sie bestehen aus einem Keil, der auf einem Stab befestigt ist und werden sowohl in Faserrichtung zum Spalten als auch senkrecht zur Faserrichtung zum Durchtrennen von Holz eingesetzt. Das früheste Werkzeug, das Goodman als ‹Axt› bezeichnet, stammt um etwa 8000 v. Chr. aus dem heutigen Dänemark. Es handelt sich um ein Stück Rentierhorn, in das ein Stück geschärfter Feuerstein eingesetzt wurde[349]. Erste Klingen mit Schaftloch gossen die Bronzeschmiede von Ur in Mesopotamien ab 2800 v. Chr. Das bis heute gültige äussere Erscheinungsbild der Äxte und Beile mit bogenförmiger Stahlklinge und einem elliptischen Schaftloch, durch die ein Holzschaft gesteckt wird, entwickelte sich in der Eisenzeit zwischen 500 und 200 v. Chr[350].

Sägen

Das Prinzip der Säge zum spanenden Durchtrennen von Holz mit einer schmalen Sägefuge und parallelen, annähernd ebenen Seitenflächen bedingt ein dünnes Blatt, das so nur aus Metallen hergestellt werden konnte. Die älteste bis zur Gegenwart erhalten gebliebene Metallsäge zur Holzbearbeitung ist eine Kupfersäge aus der frühen 3. Dynastie (um 2700 v. Chr.) aus Ägypten[351] . Wegen der Weichheit des Kupfers konnten diese Sägen nur auf Zug eingesetzt werden. Die Verwendung von Eisensägen kann bis in die frühe Eisenzeit im 8. Jahrhundert v. Chr. datiert werden[352]. Die Römer begannen etwa im 4. Jahrhundert v. Chr. mit dem Verschränken (wechselweise nach aussen stellen) der Sägezähne[353], wodurch die Sägefuge breiter wurde als das Sägeblatt und genügend Freiraum für das Stossen von gespannten Rahmensägen geschaffen war. Ab dem 15. Jahrhundert erlaubt die Entwicklung vom Eisen zum Stahl,

---

348 Deutschsprachige Archäologen dagegen unterscheiden Axt und Beil an ihrer Schäftung. Unabhängig von Material (Stein, Bronze, Eisen), Handhabung (ein- bzw. zweihänding) und Verwendung bezeichnen sie einen Körper mit Schaftloch als ‹Axt› und einen Körper ohne Schaftloch als ‹Beil›.

349 Goodman 1964, S. 12

350 Goodman 1964, S. 23 , Schadwinkel 1986, S. 83

351 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 25, auch Ettelt und Gittel 2004, S. 5
Goodman 1964, S. 111 erwähnt Kupfersägen ab 2000 v.Chr. und bildet zwei Sägen um 1490 v. Chr. ab.

352 Gaitzsch 1990, S. 173

353 Plinius (Nat. 16, 227) zitiert nach Gaitzsch 1990, S. 174 schreibt von wechselweise ausgebogenen Sägezähnen, welche die Späne auslösen: «qua de causa alterna inclinatione egerunt scobem».

breite, harte, ungespannte Sägeblätter zu verwenden, wie sie bei der Schrotsäge und der Stosssäge zum Einsatz kommen[354].

Hobel

Ein Hobel besteht aus einem fest eingespannten Keil mit Schneide, der zur Erzeugung glatter Oberflächen eingesetzt wird. Die vordere Kante des Mauls zur Aufnahme der Hobelspäne trägt wesentlich zur Erzeugung glatter Flächen bei, denn sie verhindert durch ihren Druck auf die Holzfasern, das – wie bei der Axt – der Schneide ein Spalt vorauseilt, was zu einer rissigen und rauhen Oberfläche führen würde. Die ältesten bekannten Hobel der Welt wurden in Pompeji gefunden, das 79 n. Chr. bei einem Ausbruch des Vesuv verschüttet wurde. Diese römischen Hobel gleichen in Abmessungen und Schnittwinkel den Anforderungen der heutigen DIN-Norm[355].

Der Einsatz von Eisen ist bei sämtlichen Handwerkzeugen ein wichtiger Entwicklungsschritt. Das Schmelzen von Eisenerzen stellt zunächst keine leicht zu bewältigende technische Herausforderung dar, da der Schmelzpunkts mit 1535 °C relativ hoch liegt (im Vergleich zu Kupfer mit 1084 °C und der Kupfer-Zinn Legierung Bronze mit knapp unter 1000 °C). Die Erzeugung von Stahl für Klingen und Schneiden kann ab etwa 900 v. Chr. nachgewiesen werden und verändert die handwerkliche und landwirtschaftliche Produktion Europas. Zum einen war Eisen den Bronzewerkzeugen in den Gebrauchseigenschaften überlegen. Viel entscheidender aber war, dass etwa 5% der Erdkruste aus Eisen bestehen und so der Rohstoff fast überall in ausreichenden Mengen zu finden war[356]. Mit der Einführung des Eisens bei der Herstellung von Werkzeugen sind die Weichen in der Fertigungstechnik bis zum Ende des Mittelalters gestellt. Das Werkzeuginventar der holzbearbeitenden Gewerbe wurde in zahlreichen Varianten universell zum Möbelbau, Schiffsbau und Hausbau verwendet und wird noch heute mit wenigen prinzipiellen Veränderungen eingesetzt[357]. Die Hauptbestandteile der Handwerkzeuge waren bereits in einem frühen Stadium ihrer Entwicklung gesetzt und lassen kaum Variationen zu. Die Beschränkung der Handwerkzeuge auf wenige Prinzipien lässt sich nicht nur an der Zeitachse, sondern ebenso kulturenübergreifend im globalen Massstab beobachten. Dieses Phänomen wird von verschiedenen Autoren als «auffällig» und «remarkable» erkannt[358], ohne dass daraus weitere Schlüsse gezogen werden.

---

354 Gerner 1992, S. 11

355 Schadwinkel 1986, S. 176, vgl. auch DIN 7220 und DIN 7305

356 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 46

357 vgl. Powis Bale 1880, S. 4; Gerner in Schadwinkel 1986, S. 20 und S. 36; Hansen 1980, S. 11; Radkau 2007, S. 83

358 Graubner 1986, S. 17 bzw. Richards [et al.] 1989, S. 1
vgl. Gerner 2002, S. 13. «Der grössere Teil der Zimmerwerkzeuge und Geräte wurde über Jahrhunderte in vielen Teilen der Welt in fast gleichen Formen hergestellt und benutzt.»



Abb. 10: Ägyptische Kupferzugsägen 1490 v. Chr., British Museum (Goodman 1964, S. 111)



Abb. 11: Handsäge 2009, Firma Stanley



Abb. 12: Römischer Hobel, Pompeji 79 n. Chr., Museo Nationale Neapel (Goodman 1964, S. 44)



Abb. 13: Hobel mit Klingenmagazin 2009, Firma Stanley

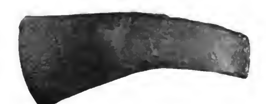


Abb. 14: Römische Axt, ca. 500–200 v. Chr., Sammlung des Duke von Wellington (Goodman 1964, S. 23)



Abb. 15: Axt 2009, Firma Gränsfors Bruks



Abb. 16: Motorsäge Erco, 1920er Jahre (Monroy 1929, S. 31)



Abb. 17: Motorsäge 2009, Firma Stihl, Waiblingen

Dabei darf natürlich nicht übersehen werden, dass sich innerhalb der Grenzen dieser Prinzipien Gestalt, Material und Konstruktion der Werkzeuge über die Jahrhunderte schubweise in zahlreichen individuellen Spielformen veränderten und verbesserten – und dies mit einer Deutlichkeit, die eine recht genaue Datierung und Lokalisierung erlaubt[359].

Die gesamte Kette der Holzbearbeitung wurde mit solchen Handwerkzeugen durchgeführt: Bäume wurden mit Handwerkzeugen gefällt, mit Handwerkzeugen zu Bauholz behauen und mit Handwerkzeugen für die Verbindung mit anderen Bauteilen vorbereitet. Die anschliessenden einzelnen Holzverarbeitungsschritte wurden mit den gleichen Werkzeugen von Hand durchgeführt. Muskelkraft, ob von Menschen oder von Tieren, war die Kraftquelle aller Arbeitsschritte. Alle technischen Erfindungen dieser Zeit wie Winden, Hebelarme und Kräne dienten vor allem dazu, das Potential menschlicher und tierischer Muskelkraft zu multiplizieren[360]. Die Qualität und Geschwindigkeit der gesamten Holzverarbeitungskette wurde vom handwerklichen Wissen und handwerklichen Können des ausführenden Menschen bestimmt. Sofern ausreichend Raum vorhanden war, wurden sogar alle Schritte der Schnittholzherstellung und -verarbeitung direkt am Bauplatz vorgenommen[361].
Betrachten wir die handwerkliche Holzbearbeitung unter dem Schema aus Abb. 6 und 7, so finden wir diese bestätigt. Der Handwerker verarbeitete gleichzeitig die Ströme von Energie (seine Muskelkraft), Stoff (mit dem von seinen Händen gehaltenen und geführten Werkstück und Werkzeug) und Information (die Absicht, die entsprechenden Bearbeitungsschritte auszuführen, gegebenenfalls nach einem aufgezeichneten Plan)[362]. Der Umsatz von Energie, Stoff und Information lief in der Hand zusammen, von deren Geschick das Resultat abhing[363].

---

359 Goodman 1964, S. 8:
«There seems to be a general impression that down the ages there has, in fact, been very little change in the form of commoner tools. To the average museum-goer the Roman hammer, axe or saw look very similar to those in use today. There are, of course, superficial resemblances, but in almost every detail of their design and construction there have been considerable changes and improvements in the course of time. It is a curious thing that the axe, the first, the simplest, and for a long time the commonest cutting tool of all, with a continuous history extending over 10000 years, shows as much variation in detail as any, so that it is possible to date any example within fairly close limits, yet on the face of it very little variation is possible.»

360 Toffler 1980, S. 37

361 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 85

362 Mumford 1934, S. 85:
«While the tool still dominated production energy and human skill were united within the craftsman himself [...].»
Rolland 1920, S. 13ff:
«Bewaffnet mit Hacke, Stemmeisen, Meißel und Hobel, schalte ich an meinem Werktisch nach meinem Willen mit der knorrigen Eiche und dem glatten Nußbaum. (...) Wie wonnesam ist es, mit dem Werkzeug in der Hand am Arbeitstisch zu stehen, wie herrlich den schönen, festen Werkstoff, so da widerstrebet und sich dennoch formen läßt, zu sägen, zu schneiden, zu hobeln, zu stutzen und auszuhöhlen, wieder zusammenzusetzen, zu feilen, zu zerreiben und von neuem zu binden; also das weiche feste Nußholz, das unter der Hand wie ein Feenleib bebt, gleichermaßen jeder Hülle bloß, die blonden und rosigen, die braunen und goldigen Körper der Nymphen unserer Wälder, die die Axt gefällt hat. Welche Freude verschafft die sichere Hand, welche Freude die geschickten Finger, diese groben Finger, aus denen empor steiget das zarte Werk der Kunst. Welche Freude für die Seele, die Elemente der Erde zu beherrschen, dem Holz, dem Eisen, dem Stein den Stempel ihrer edlen Einfälle aufzudrücken. (...) Meine Finger sind willfährige Diener, regiert von meinem Obergesell, meinem alten Gehirn, das selbsten mir untertänig, nur das Spiel leitet, das da meinen Träumen gefällt.»

363 vgl. Giedion 1948, S. 278:



Abb. 18: Formfindung: Handbohrmaschine 1895, Firma Fein, Stuttgart (erstes Elektrowerkzeug der Welt)

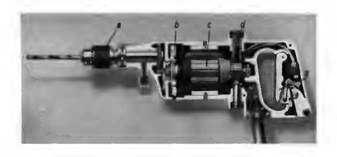


Abb. 19: Form gefunden: Handbohrmaschine 1940, Firma Fein, Stuttgart






Werkzeug	*Handsäge*	*Stichsäge*	*Handkreissäge*	*Tischkreissäge*
Einordnung	Gerät	Gerät	Gerät Maschine?	Maschine
Bewegung	reziprok	reziprok	rotatorisch	rotatorisch
Halten des Werkzeugs	manuell	manuell	manuell	auf Tisch (fixiert)
Führen des Werkzeugs	manuell	manuell frei, Neigung fixiert	manuell frei oder mit Anschlag, Neigung und Richtung fixiert	alles fixiert
Halten und Führen des Werkstücks	unbestimmt	unbestimmt	unbestimmt	manuell, linear mit Anschlag

Tabelle 10: Beispiel des fliessenden Übergangs zwischen Handwerkzeug und Maschine: Während die Stichsäge eine elektrisch betriebene Interpretation der Handsäge ist, stellt die Handkreissäge eine tragbare Version der Tischkreissäge dar, bezieht sich also auf die Maschine. Dies kann man auch daran sehen, dass die Handkreissäge ein kreisförmiges Sägeblatt verwendet, dass es in der Hand-Werkzeug-Technik nicht gibt.

Maschinelle Handwerkzeuge

Einen Sonderfall der Handwerkzeuge stellen die sogenannten ‹maschinellen Handwerkzeuge› dar – also Werkzeuge, die von Hand geführt, deren Bewegung aber von einer Kraftmaschine verursacht wird. Gemäss meiner Definition in Kapitel 2.3.6 spreche ich auch dann noch von Hand-Werkzeug-Technik bzw. Handwerkzeugen, wenn diese von einer Kraftmaschine betrieben oder sonstwie mit mechanischer Energie versorgt werden, so lange der Mensch die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug bestimmt. Ich habe die Energie als Skalierungsfaktor dargestellt, der nicht das Prinzip, sondern die Menge des Umsatzes bestimmt. Die technische Entwicklung in der Hand-Werkzeug-Technik war also nicht nur geprägt von der Optimierung und Diversifizierung von Handwerkzeugen, sondern gleichzeitig von deren Mechanisierung. Als allgemeine Beispiele hierfür nennt Paulinyi die Handdrehbank, das Spinnrad, den Trittwebstuhl oder das Hammerwerk[364]. In der Holzbearbeitung werden Handdrehbänke wie die Wippendrehbank mit Fussantrieb seit dem 13. Jahrhundert zum Drechseln eingesetzt.

Die Erfindung der maschinellen Handwerkzeuge mit elektrischer Energieversorgung, der sogenannten Elektrowerkzeuge, ist deutlich jüngeren Datums als die der Werkzeugmaschinen, da sie einen leichten, tragbaren Antrieb bedingen, der sich mit Transmissionsantrieb mittels Riemen o.ä. nicht realisieren lässt. Als erstes maschinelles Handwerkzeug mit integrierter Kraftmaschine in der Holzbearbeitung kann Wilhelm Emil Feins elektrische Handbohrmaschine von 1895[365] betrachtet werden, die auch als erstes Elektrowerkzeug der Technikgeschichte gilt. 1927 war es wiederum Feins Firma, die die elektrische Stichsäge vorstellte. Bei beiden Werkzeugen ist auffällig, dass sie in ihrer Urform noch recht weit weg von der Form sind, die sich erfolgreich bis heute durchsetzen konnte. Handwerkzeuge mit elektrischem Einzelantrieb finden in den 1930er Jahren Verbreitung[366] und haben seitdem ihre prinzipielle Form behalten. Die ersten handgeführten Kettensägen mit Benzinmotor (ein Werkzeug ohne Vorbild unter den ortsfesten Maschinen[367]; auch als Motorsägen bezeichnet) erscheinen kurz vor dem ersten Weltkrieg auf dem Markt und erhalten wenig später in den 1920er Jahren ihre heutige Form[368]. Weil die Entwicklung der maschinellen Handwerkzeuge noch kaum ein

«Two woodworking tools are masterfully used by the Middle Ages the woodcarvers' knife and the adze. These instruments are more nearly akin than one might suppose. In themselves they are rigid and unwieldy: Everything depends on the hand that guides them. Skilfully used, they transmit with wonderful directness the motions guiding them over the wooden medium.»

364 Paulinyi 1993, S. 193

365 http://www.fein.de. Zugang im Dezember 2008

366 Wichmann 1940, S. 52f. Graf 1940

367 Pahlitzsch 1950, S. 306

368 Monroy 1929, S. 31:
«So begannen schon vor dem Kriege Versuche, motorisch angetriebene Sägemaschinen zu konstruieren. (...) Nach mancherlei Versuchen gelang es erst später, Motorsägen zu entwickeln, bei denen der Motor unmittelbar mit dem Antrieb der Sägekette gekoppelt ist, und die Sägekette über eine nur mässig breite Schiene läuft, an deren anderem Ende ein zweiter Handgriff angebracht ist. Zu dieser Art der Konstruktion gehören die soganannten ortsbeweglichen Baumfäll- und Ablängmaschinen, von denen die leichteren ein Gewicht von 37 bis 42 kg haben und von zwei Bedienungsleuten frei getragen werden

Jahrhundert zurück liegt, ist dort gut die Formfindung in der Frühphase der Markteinführung von der Phase des Marktwachstums unterscheidbar, in der ein Werkzeug dann seine prinzipielle Form findet.
An den Elektrowerkzeugen lässt sich gut darstellen, dass bei den maschinellen Handwerkzeugen die Unterscheidung zwischen Gerät und Maschine nicht immer ganz eindeutig ist. Tabelle 10 zeigt, dass die Handkreissäge ihren Prinzipien nach der Maschine näher steht als den Handwerkzeugen. Was die Freiheitsgrade beim Halten und Führen von Werkzeug und Werkstück angeht, unterscheiden sich Hand- und Tischkreissäge eigentlich nur im Gebrauch des Anschlags: Bei der Tischkreissäge ist der Gebrauch des Anschlags obligatorisch, Halten und Führen von Werkstück und Werkzeug sind also durch die Maschine bestimmt. Dagegen wird die Handkreissäge bei kürzeren Schnitten frei– aber immer linear – geführt und wäre dadurch ein Gerät. Folgen wir dieser Logik, wird die Handkreissäge durch den Gebrauch eines Anschlags oder die Führung an einer Werkstückkante bei längeren Schnitten zur Maschine, weil der Bearbeiter im Sinne Reuleauxs eine Bewegung ausführt, «für die ihm keine Wahl gelassen ist»[369] (vgl. Kapitel 2.3.5).
Um nun nicht zu viel Verwirrung zu stiften, rufe ich abschliessend noch einmal das Wellendiagramm von Abb. 8 in Erinnerung: Wesentlich in unserer Untersuchung sind demnach für die jeweilige Fertigungstechnik die Momente, in denen sie die führende Rolle im System der Produktionstechnik übernimmt[370]. Da die maschinellen Handwerkzeuge erst ein Jahrhundert nach der Industriellen Revolution entstehen, spielen sie hier nur eine Nebenrolle.

3.4 Auswirkungen der Hand-Werkzeug-Technik auf die Holzbearbeitung

Wenn ich nun gleich nach den konkreten Auswirkungen der vorgestellten Werkzeuge suche, begebe ich mich wieder zurück in die lange Zeitspanne vor der Industriellen Revolution, das ‹hölzerne Zeitalter›.

können; andere Maschinen mit schwererem Gewicht sind mit in der Höhe verstellbaren Füssen versehen, auf denen der Motor während der Sägearbeit ruht. Ein besonderer Vorzug der Ereo-Säge ist, dass die Sägekette durch einen dicht am Antrieb angebrachten Hebel bei weiterlaufendem Motor ausgeschaltet werden kann. Dadurch wird die Möglichkeit von Unfällen vermieden, die bisher gegeben war, wenn die Arbeiter bei umlaufender Sägekette von einem Baum zum anderen gingen.»
Pahlitzsch 1939, S. 224:
«Von dieser Maschinenart haben sich insbesondere die Motor-Kettensägen seit etwa zehn Jahren auf dem Holzschlag und auf dem Rundholzplatz als unentbehrlich erwiesen.»

369 Reuleaux 1900, S. 238

370 vgl. Paulinyi 1999, S. 27

3.4.1 Integration der Wuchsrichtung

Mit den Werkzeugen des Neolithikums ist eine effiziente Holzbearbeitung mit Holzverbindungen nur begrenzt umsetzbar[371]. Bäume werden soweit als möglich ihrem natürlichen Wuchs entsprechend eingesetzt. Die Krümmungen der grob behauenen Stämme werden in die Konstruktion integriert. Fundstücke wie Astgabeln oder Astansätze bilden eine Grundlage für Verbindungsdetails[372]. Solange Stämme lediglich abgelängt, entrindet und entsprechend ihrem Wuchs verbaut werden, ist der Einfluss der Hand-Werkzeug-Technik auf die Holzbearbeitung gering anzusetzen. Die Holzbearbeitung folgt vielmehr dem Diktat der Natur.
Wir dürfen den natürlichen Wuchs jedoch nicht als steinzeitliche Urform der Konstruktion vernachlässigen, denn seine Berücksichtigung spielt noch im Fachwerkbau des Mittelalters eine wichtige Rolle: Besonders bei den Verstrebungen ist es üblich, die natürliche Krümmung des Holzes als Zierform einzusetzen. Während also die annähernd runden Stammprofile zu annähernd rechtwinkligen Bauholzprofilen behauen wurden, blieb mitunter die Krümmung des Stamms erhalten. Die Bearbeitung mit Handwerkzeugen stellte kein Hindernis dar, individuelle Stämme als solche individuell zu bearbeiten und so ihre individuellen Eigenschaften nutzbar zu machen. Unter statischen Gesichtspunkten birgt dies durchaus Vorteile: Je mehr die Mittelachse eines Stabes in einem Bauwerk der Wuchsrichtung des zugrundeliegenden Stammes folgt, desto weniger Holzfasern müssen bei seiner Bearbeitung durchtrennt werden und desto höher ist die Eigenstabilität des Bauelements. Liegen hier die Ursachen für die grossen Krummholzdachstühle aus stark verwachsenen Eichen, wie sie im 14. bis 16. Jahrhunderts beliebt waren[373]? Mit Sicherheit können wir feststellen, dass – bevor es möglich war, Holz unter Hitzeeinfluss zu biegen – Krummhölzer für die Konstruktion von Schiffsrümpfen, Schlitten- und Wagenbäumen bis ins 19. Jahrhundert ein begehrtes Rohmaterial waren, welches mitunter sogar teurer gehandelt wurde als die geraden Stücke[374].

---

371 Gerner 2000, S. 11

372 Gerner 1992, S. 9

373 Courtenay 1993, S. 183

374 Jung 1787:
«Aber auch krumme Stämme von allerhand Art, wenn sie nur gesund sind, werden sehr nützlich verbraucht, besonders zu Wasserrädern, vornehmlich aber zum Schiffbau. Da nun Stücke, welche die gehörige Krümme haben, sehr schätzbar sind, und öfters mehr kosten als gerad Holz, so sieht man leicht ein, wieviel ein Forstbedienter versäumt, welcher einen Schiffreichen Fluß in der Nähe hat, den Nutzen des Krummholzes nicht weiß, und dasselbe in Klafterholz schlägt. ..»
Jagerschmid 1828, S. 76:
«Je mehr sich der Wuchs des Holzes den gefordert werdenden Formen nähert, desto weniger hat die Kunst zur Formung beizutragen und nachzuhelfen, und desto haltbarer und dauerhafter wird die ganze Verbindung des Schiffbaues.»
Karmarsch 1875, S. 650:
«Krumme Schnitte (bei Schiffbauholz, Schlitten- und Wagenbäumen) sind meistentheils nur durch Handsägen zu erreichen, obwohl es für gewisse einzelne Fälle dieser Art auch Sägemaschinen gibt. Durch bogenförmige Schnitte wird immer ein Theil der Fasern durchschnitten (das Holz über den Span geschnitten, bois tranché), folglich die Widerstandskraft gegen Zerbrechen vermindert. Es ist daher zweckmässig, soviel möglich krumme Arbeitsstücke aus krummgewachsenem Holze zu machen.»

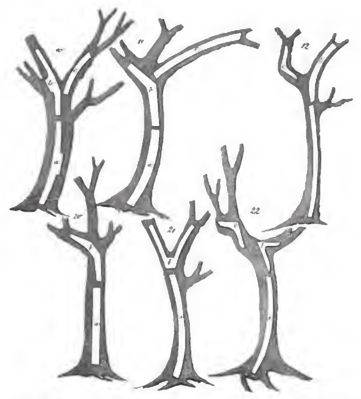


Abb. 20: Krummgewachsene Bäume, nach den Masstaben der Standardisierung in der Holzwirtschaft als Nutzholz unbrauchbar, waren bis ins 19. Jahrhundert im Schiffbau begehrt. Die Abbildung zeigt den Versuch, den Krummwuchs verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten zuzuordnen (Jagerschmid 1828, Tafel 6).





Abb. 21: Holzverbindungen, die die natürliche Wuchsrichtung der Bäume nutzen: Astgabel in Kirk 1994, S. 125; umgekehrte Wurzel als Tragwerksaussteifung einer Stabkirche von ca 1200, aufgestellt im Norsk Folkemuseum, Oslo (Foto: Autor)



Abb. 22: Kobern Peterssstr. 3 (15. Jh) mit natürlich gekrümmten durchlaufenden Ständern im Obergeschoss (Grossmann 2004, S. 113)



Abb. 23: Detail Alsfelder Rathaus (1512-1516) mit natürlich gekrümmten Langstreben (Gerner 2007, S. 40)



Abb. 24: Krummholzdachstuhl mit offenen Windverbänden, Brethen's Hall im St. Cross Hospital, Winchester, 14. Jahrhundert (Kirk 1994, S. 111)



Abb. 25: Krummgewachsene Konstruktionshölzer im Dachstuhl einer Zehntscheune in Bradford-on-Avon in Wiltshire, 14. Jahrhundert (Kirk 1994, S. 109)





Abb. 26: Planieren ohne Anschlag entlang des Schnurschlags: Zimmerleute im Chiemgau beim Beschlagen mit dem Beschlagbeil (Phleps 1942, S. 13)

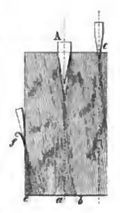


Abb. 27: Beim Spalten erhält das Werkzeug seine Richtung von der Spaltfuge, die nach dem Laufe der Holzfaser geht (Exner 1878, Bd 2)

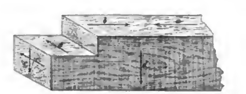


Abb. 28: Beim Schneiden bestimmt der Arbeiter die Richtung der Trennung, ohne Rücksicht auf den Lauf der Faser. (Exner 1878, Bd 2)

Abb. 29: Auftrennen ohne Anschlag: Schweizerische Zimmerleute um 1900 mit der Klobsäge (Schadwinkel 1986, S. 139)

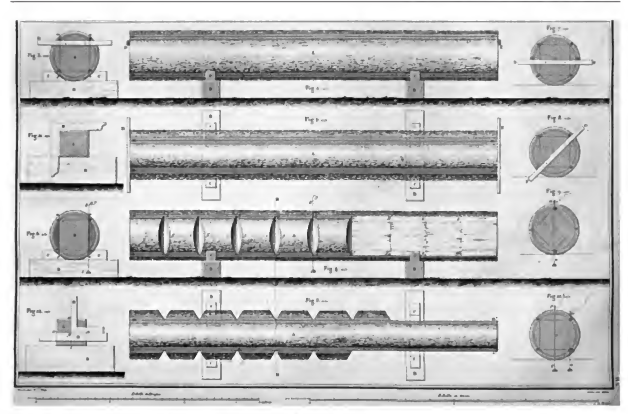


Abb. 30: Bebeilen eines Stammes zu einem Balken (Emy 1841, Tafel 5)
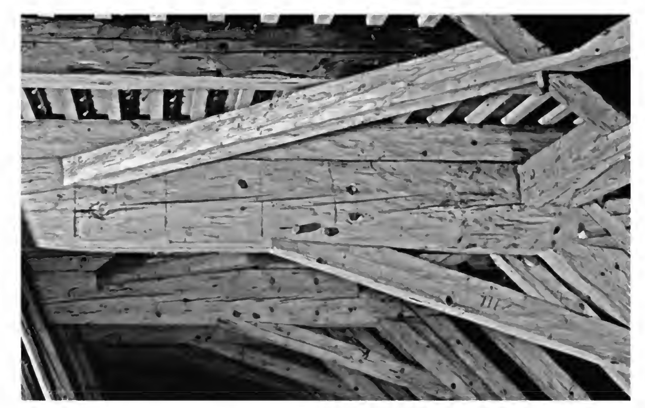


Abb. 31: Klosterkirche Baumburg, 18. Jahrhundert. Bebeilungsspuren an einer liegenden Stuhlsäule im Streiflicht (Holzer und Köck 2008, S. 47)

3.4.2 Integration der Faserrichtung

Die Beachtung der natürlichen Vorgaben des Holzes setzt sich auf der nächsten Strukturebene der Holzbearbeitung fort. Um aus einem Baumstamm ein rechteckiges Profil zu machen, wurde das Beil als Werkzeug bevorzugt, da es gegenüber dem manuellen Sägen mit dem geringeren Kraftaufwand verbunden war[375]. Die sogannten Beschlagbeile sind ausschliesslich zum Glätten von Holzoberflächen bestimmt und sind nach dem dafür gebräuchlichen Fachbegriff ‹Beschlagen› (auch ‹Bebeilen›) benannt. Wegen der grossen Herausforderung dieser Tätigkeit an das handwerkliche Geschick und ihrer grossen Bedeutung für die Zimmerei galt das Beschlagbeil als symbolisches Zeichen des Zimmermanns. Das Beschlagen selbst erfolgt entlang eines Schnurschlags[376]. Beim Schlagen greift die Schneide ins Holz und folgt in einem ziehenden Schnitt der Faserrichtung, wodurch die Fasern gespalten werden. Der gelöste Span wird nicht vom Holz entfernt, sondern beim nächsten Schlag als Führung benutzt[377]. Dabei ist die Bearbeitungsgenauigkeit durch das menschliche Geschick beschränkt, weil der Zimmerer dem Schnurschlag nur mit dem Augenmass folgt und es für das Beil keinen mechanischen Anschlag gibt. Andererseits ist sie beeinflusst durch die Vorgaben des Materials, da das Beil beim Spalten der nicht unbedingt gerade verlaufenden Faserrichtung folgt und zudem Späne beim Abspalten der Schneide vorauseilen können.
Das weitere Auftrennen des beschlagenen Profils in Längsrichtung wurde mit einer grossen Klob- oder Rahmensäge durchgeführt, die von bis zu drei Männern geführt wurde[378]. Ein Sägeblatt folgt nicht mehr wie das Beschlagbeil der Faserrichtung, sondern zerspant das Holz. Die Späne sind wesentlich kleiner und können nicht vorauseilen, allerdings werden mehr Zellen aufgerissen, so dass mit dem höheren Aufschlussgrad[379] die Widerstandsfähigkeit des Holzes sinkt[380]. Hermann Phleps nennt daher die Säge «das dem Holz am meisten Gewalt an-

---

375 Holzer und Kock 2008, S. 45

376 Hassenfratz 1804, S. 126f:
«Sobald der Stamm auf der Unterlage befestigt ist […], entfernt der Zimmermann mit der Axt die Rinde an derjenigen Stelle, an der er die Seitenfläche des Balkens aufzeichnen muss […]: Er rollt seine Schnur aus und taucht sie in eine Lösung von Strohasche ein, wenn er die Linie schwarz markieren will, oder in Rötel, wenn er seine Linie rot markieren will. […] Wenn die Schnur mit der einen oder anderen Farbe getränkt ist, stellen sich zwei Arbeiter an den Enden des Stammes auf und spannen die Schnur über der Stelle, die markiert werden soll. Einer von beiden hebt die Schnur an und lässt sie auf den Stamm zurückschnellen. Dabei überträgt sich die Farbe von der Schnur auf das Holz und markiert eine gerade Linie, die den Arbeitern beim Bebeilen als Leitlinie dient. Sie tragen dann noch eine zweite Linie an, die die Dicke oder Breite des Balkens angibt. […] Sobald das Stück angezeichnet ist, steigt der Arbeiter hinauf und erstellt mit seiner Axt Einkerbungen im Stamm im Abstand von 60 bis 80 Zentimetern. Deren Tiefe wird durch die Position der vorgezeichneten Linie vorgegeben und muss genau eingehalten werden. Sobald die Einkerbungen über die ganze Länge des Balkens hergestellt sind, spaltet man die Stücke ab, die zwischen den Kerben noch stehengeblieben sind. Dann steigt der Arbeiter herab und entfernt mit seinem Beil die noch überstehenden Holzteile. Dabei muss der Arbeiter sorgfältig darauf achten, die Seitenflächen des begonnenen Balkens genau senkrecht abzuarbeiten.» (im Original französisch; deutsche Übersetzung aus Holzer und Köck 2008, S. 45f)

377 Schadwinkel 1986, S. 100, Grossmann 2004, S. 23

378 Schadwinkel 1986, S. 139

379 Der Aufschlussgrad bezieht den Anteil zerstörter Zellen auf die gesamte Anzahl der Zellen

380 Beckmann 1783:
«Der Spalter oder Holzreisser arbeitet viel geschwinder, als der Säger, und das gerissene Holz ist dauerhafter, als das gesägte. Denn die Spalte folgt dem Laufe der Holzfasern, und laßt solche ganz, dahingegen die Säge, welche ihren vorgezeichneten

tuende Werkzeug»[381]. Die Grenze der Präzision ist beim Sägen entlang des Schnurschlags aber wie beim Beschlagen das Augenmass der Bearbeiter.
Halten wir fest: Die Oberflächen eines mit Hand-Werkzeug-Technik bearbeiteten Werkstücks können geometrisch nicht plan sein – einerseits wegen der Differenz zwischen dem Schnurschlag und der mit Hilfe des Augenmasses ausgeführten Werkzeugbewegung und andererseits durch die inhomogene Komposition des Holzwerkstücks[382].

3.4.3 Zusammenpassbau

Die Holzbearbeitung mit Handwerkzeugen macht es also schwierig, identische, austauschbare Bauteile herzustellen. Das gleiche gilt für die Verbindungen der Hölzer, die bis ins 19. Jahrhundert als biegesteife Holzverbindung ausgeführt wurden, da metallische Verbindungsmittel wie Nägel zu aufwändig und kostspielig in der Herstellung waren. So kam es schon früh zu den enorm vielfältigen Verbindungen, die wir als ‹Holzverbindungen› zusammenfassen: Stossverbindungen, Zapfenverbindungen, Eckverbindungen, Blattverbindungen, Kammverbindungen, Versatzverbindungen, Klauenverbindungen. Hermann Phleps zeigt 49 unterschiedliche Eckverbindungen allein für den Blockbau[383]. Manfred Gerners Darstellung handwerklicher Holzverbindungen umfasst 287 mehr oder weniger unterschiedliche Lösungen[384]. Knut Einar Larsen vermutet gar weit über 1000 unterschiedliche Varianten im japanischen Holzbau[385].
Die Geometrie der Holzverbindungen wurde jeweils individuell für das Fügen zweier Bauteile hergestellt. Dabei sind verschiedene Techniken vorstellbar. Stark variierende Detailgeometrien lassen vermuten, dass das erste Element der Verbindung nach Augenmass erstellt sein könnte und als Schablone für das zweite Element diente. Bei wiederkehrenden Massen ist es wahrscheinlich, dass Lehren zum Einsatz kamen[386] und die Individualität der Verbindungen erst durch Bearbeitungstoleranzen und Anpassungen an die ungleichen Profile gebeilter Hölzer entstand. Der norwegische Historiker Arne Berg berichtet dagegen davon, «dass Zimmerleute

---

geraden Weg geht, fast alle Fasern zerreißt, zerstückt, und dadurch ihren Zusammenhang und die Festigkeit vermindert. Es ist wahr, daß eben deswegen das gespaltene Holz oft krumm und schief ausfällt, aber bey manchem Gebrauche schadet dieß nicht, und der Fehler läßt sich zuweilen verbessern.»

381 Phleps 1942, S. 15, Phleps 1942, S. 43 «das grausamste Werkzeug»

382 Ein zusätzlicher Faktor, der uns aber im Rahmen der Hand-Werkzeug-Technik nicht beschäftigt, ist das Austrocknen des Holzes: Wurden Holzquerschnitte frisch verbaut, konnten sich durch das Trocknen die Querschnitte nachträglich verziehen. vgl. Grossmann 2004, S. 23

383 Phleps 1942, S. 57ff

384 Gerner 1992

385 Larsen 1994, S. 91

386 zwei undatierte Beispiele von Zimmermannslehren zeigt Schadwinkel 1986, S. 58

mit unterschiedlicher Arbeitstechnik an ein und demselben Haus arbeiteten»[387], so dass nicht nur individuelle Geometrien, sondern auch individuelle Verbindungstypen auftraten.
In jedem Fall wurden alle Werkstücke und Konstruktionsteile wie Balkenlagen, Dachstühle, Sparrengebinde und Fachwerkwände zum Anreissen aneinander angelegt und nach dem Abbund[388] probeweise zusammengefügt. In einer Holzkonstruktion der Hand-Werkzeug-Technik gibt es genauso viele Detailgeometrien wie Holzverbindungen. Auch bei grundsätzlich gleichartigen Abmessungen und Funktionen im Hausgerüst waren die Teile nie untereinander austauschbar[389]; ganz wie die Teile eines Puzzles, die sich nur auf eine Art fügen lassen. Für den Ablauf der Fertigung ist es wichtig, festzuhalten, dass eine Paarung von Teilen im gefügten Zustand blieb, während des nächste Paar bearbeitet wurde, also die Angleichung der Teile sich schrittweise fortsetzte, stets im Rückbezug auf bereits gefertigte Teile[390].
Dieses Prinzip wurde unabhängig von Konstruktion und Masstab gleichermassen in Architektur und Möbelbau angewandt. Für die handwerkliche Einzelanfertigung einzeln zugeschnittener, individuell zusammengepasster Teile hat Rüdiger Albin[391] für den Innenausbau den Begriff ‹Zusammenpassbau› vorgeschlagen[392], auf den ich in den folgenden Ausführungen zurückgreifen will. Peter Benje beschreibt für den Möbelbau die Verwendung des ersten Teiles als Schablone für das zweite als ‹Zusammenzeichnen›[393].

---

387 Berg 1989. Bd 1. S. 246:
«Auf dem Zimmerplatz war es üblich, dass ein und derselbe Mann eine ganze Eckverbindungsreihe von unten nach oben herstellte. Oft arbeitete je ein Mann an jedem Balkenende. Es gibt Beispiele dafür, dass Zimmerleute mit unterschiedlicher Arbeitstechnik an ein und demselben Haus arbeiteten, so dass etwa eine ältere Form der Balkenverbindung an einer Ecke auftritt und damit von den drei anderen abweicht.»

388 Schadwinkel 1986. S. 229.
«Als Abbinden bezeichnet der Zimmermann bei Fachwerkverbänden, Dachgebinden und anderen Holzkonstruktionen alle Arbeiten,die vom Kantholz zum vorgefertigten Bauteil führen. Dies sind das Zulegen der Hölzer in genau jener Lage, die sie später am Bau haben sollen, das sorgfältige Anreissen, das Kennzeichnen, das Herstellen sämtlicher Verbindungen einschliesslich dem probeweisen Zusammenpassen und zum Schluss das Verbohren der Verbindungen zur späteren Aufnahme der Holznägel.»

389 Cramer 1992, S 29, Janse 1989, S. 29

390 Benje 2002, S 191

391 Rüdiger Albin war 1994 -2000 Dekan für den Fachbereich Holztechnik an der Fachhochschule Rosenheim

392 Albin 1991, S 85:
«Möbel und Bauelemente setzen sich aus einer Vielzahl von Teilen zusammen, die fest oder zerlegbar miteinander verbunden sind. In der handwerklichen Einzelanfertigung werden die Teile einzeln zugeschnitten und individuell zusammengepasst. Man spricht in diesem Fall von Z u s a m m e n p a s s b a u».

393 Benje 2002, S. 190f:
«So wurde zum Beispiel bei einer Zinkenverbindung, mit welcher Brettflächen über Eck zumeist zu einem Korpus oder zu einem Kasten verbunden werden, zuerst das Stück mit den Zinken frei, d h nach Augenmass eingeteilt oder ohne die Zinken auch nur anzuzeichnen, sofort mit der Säge frei eingeschnitten und anschliessend ausgestemmt. Dieses Stück wurde dann auf das andere, noch auszuarbeitende Stück gehalten, mit einem Spitzbohrer oder einem scharfem Bleistift wurden Lage und Form der Zinken umrissen und auf diese Weise auf das noch auszuarbeitende Gegenstück übertragen. Das erste Stück mit den Zinken diente als eine Art Schablone zum Anreissen der schwalbenschwanzartigen Gegenseite Es spielte daher keine Rolle, ob die zuerst gearbeiteten Zinken rechnerisch genau eingeteilt worden waren oder nur nach Augenmass, wichtig war allein - und das ist die Bedingung der Passarbeit - dass ihre Form und Gestalt äusserst exakt auf das Gegenstück hinübergerissen wurde und dass sie anschliessend gemäss dieser Risse ebenso exakt ausgearbeitet wurden. Durch dieses direkt aufeinander bezogene Anfertigen passten die beiden Teile als Stück und Gegenstück stets individuell paarig zusammen. [..]
Dadurch war die Lage der Teile, selbst wenn es sich von der Funktion, von der Anordnung im Gesamtstück oder von den Abmessungen her um gleiche Teile handelte, durch das individuelle Zusammenpassen unauswechselbar festgelegt, worüber

3.4.4 Abbundzeichen

Während im Möbelbau wegen der geringen Anzahl der Teile die Logistik der individuellen Teile keine grosse Herausforderung darstellte, war sie in hölzernen Bauwerken jeglicher Art zentrales Thema, ganz gleich ob es sich dabei um Dachstühle, Blockbauten oder Fachwerkbauten handelte. Die Herausforderungen waren dabei in grossen Teilen Europas die gleichen[394]: Schon ein einfacher Holzbau bestand aus mehreren hundert Teilen; bei den reich dekorierten Fachwerkhäusern des 17. Jahrhundert konnten es bis zu tausend Bauteile sein[395]. Besonders schwierig gestaltete sich die Logistik im Fachwerkbau: Da die einzelnen Holzbauteile in dieser Konstruktion nicht alleine stehen können und erst im Verband stabil sind, wurden die Bauelemente eines Gebäudes grundsätzlich am liegenden Holz bearbeitet[396]. Daher musste um ein Gebäude herum genug Platz zur Verfügung stehen, von dem aus eine liegende Wand nach der Montage direkt in ihre endgültige Position aufgerichtet werden konnte. Bei Grundstücken im städtischen Kontext war dies kaum der Fall.
Eine ästhetische Zusatzproblematik war die ‹Bundseite› d.h. die Seite, auf der alle Balken in einer Ebene liegen. Wegen der ungleichen Profile gebeilter Hölzer kann es nur eine Bundseite geben. Dies ist wegen ihrer leichteren Zugänglichkeit die im liegenden Zustand nach oben weisende Seite der Wand. Wollte man nun die Bundwand nach dem Aufrichten auf der Aussenseite des Gebäudes sehen, hätte man die liegende Wand innerhalb des Gebäudegrundrisses bearbeiten müssen, was aus Platzgründen kaum möglich war. Spätestens bei der Errichtung der Innenwände wurde das Aufrichten direkt aus der liegenden Position wegen der sich überschneidenden Liegeflächen schwierig.

Trennung von Fertigung und Montage

Es war also notwendig, Baustelle und Fertigung zu trennen. Etwa seit dem Ende des 13. Jahrhundert wurden die Zimmermannskonstruktionen nicht mehr unmittelbar auf der Baustelle selbst, sondern entweder auf einem der Plätze der Stadt, meist aber ausserhalb der Stadtmau-

---

mittels des sogenannten ‹Zusammenzeichnens der Teile› eine strenge Kontrolle errichtet wurde, um Vertauschungen oder Sucharbeit zu vermeiden.»

394 Janse 1981, S. 132
«Weil bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts die Konstruktionsprinzipien in ganz West- und Mitteleuropa fast gleich waren, finden wir überall auch das gleiche System [...]»
Janse 1981 belegt Abbundzeichen im heutigen Gebiet von Frankreich, Belgien, Deutschland, Niederlande, Schweiz, Dänemark, Kirk 1994 S. 125 für Grossbritannien und Berg 1989 für Norwegen.

395 Cramer 1986, S. 136.
«Ein mittelgrosses zweigeschossiges Haus kann schon im 14. Jh., dessen Konstruktionen sich noch durch lange, ungeteilte Bauglieder auszeichnen, aus mehr als 200 Einzelteilen bestehen. Im 15. Jh. kann man leicht mit 350 Hölzern rechnen und für einen reich dekorierten Bau des 17. Jh. mit seinen aus vielen Einzelteilen zusammengesetzten Schmuckelementen werden nicht selten weit mehr als 1000 Balken und Balkenstücke zusammenkommen.»
Itō 1978, S. 143, zitiert nach Larsen 1994, S. 90, gibt für einen japanischen Holzbau sogar bis zu 10.000 Bauteile an.

396 Grossmann 2004, S. 25

ern auf sogenannten ‹Zimmerplätzen› oder ‹Abbundplätzen› vorbereitet[397]. Solche Zimmerplätze wurden nicht nur für Fachwerkbauten, sondern ebenso – trotz des geringeren Platzbedarfs – für Dachtragwerke und Blockbauten[398] eingerichtet. Mitunter lagen enorme Distanzen zwischen dem Zimmerplatz und der Baustelle[399]. Wegen der Arbeitsvorbereitung abseits des Bauplatzes wird der Fachwerkbau gerne mit dem Begriff ‹Vorfertigung› in Verbindung gebracht[400].

Bauteilkennzeichnung mit Abbundzeichen

Nach dem probeweisen Fügen eines Wand oder eines anderen Bauelements auf dem Zimmer-

397 Cramer 1986, S. 136 sowie Cramer 1992, S. 28
Johannes Cramer zeigt hierzu einen zeitgenössischen Kupferstich von Matthäus Merian d. Ä. (1593–1650), auf dem ein Zimmerplatz vor den Toren der Stadt Ulm mit grossen Stapeln nicht zugerichtetem Holz und einzelnen verbundenen Teilen eines Dachwerks zu sehen ist.
Um je nach Anforderungen des Baus den Standort wechseln zu können, war der Zimmerplatz immer offen; überdachte Werkhallen wurden erst zum Schutz stationärer Werkzeuge und Maschinen notwendig (Grossmann 2004, S. 18)
Für einen Zimmerplatz, auf dem die Holzteile für einen Bau auf einem geweissten Boden in natürlicher Grösse mittels Schnurschlag aufgezeichnet werden, ist die Bezeichnung ‹Schnürboden›gebräuchlich (Radkau 2007, S. 243).

398 Berg 1989, Bd. 1, S. 243 für den norwegischen Blockbau:
«Wenn man das Haus vorerst provisorisch an einem Platz in der Nähe des Holzeinschlags zusammenfügte, konnte ein erheblicher Teil des Transportaufwands gespart werden. Einen solchen abgelegenen Zimmerplatz nannte man ‹uttuft› (abgeleitet von ‹tuft›, dem eigentlichen Bauplatz). […] Wenn das Haus zusammengesetzt war, wurden alle Balken gekennzeichnet, wieder auseinandergenommen und zum eigentlichen Bauplatz transportiert.»
Egloff und Egloff-Bodmer 1987, S. 87 für den Walliser Blockbau, bei dem Eckverbindungen entweder am Bauplatz oder ganz am Abbundplatz (hier: Werkplatz) entstehen können.
«Die Eckverbindung des Baus erfordert demnach zwei Einschnitte, einen auf der Oberseite des bereits in der Wand liegenden Balkens und einen auf der Unterseite des neu einzufügenden. Zuerst bereitet der Zimmermann diese untere Kerbe auf dem Bauplatz vor. Dann wird der Balken auf die Wand gehoben und provisorisch aufgesetzt. Jetzt kann der Zimmermann genau bezeichnen, wo er den Einschnitt in den bereits gefügten Balken anbringen wird. Zuletzt hebt man ihn nochmals von seinem Platz, der Zimmermann stellt sich auf den Wandbalken, einen Fuss links, den anderen rechts vom vorgezeichneten Einschnitt, und schneidet mit einer Kreuzaxt, einem Werkzeug, das auf der einen Seite Axt und auf der anderen Beitel ist, die Kerbe heraus. Es ist stets ein schwindelerregendes Erlebnis, den Zimmermann in der Höhe des Baus mit aller Kraft auf den Balken einschlagen zu sehen.
Heute kommt man von einer solchen Bauweise ab und stellt das gesamte Holzwerk auf dem Werkplatz zusammen. Jede Wand wird vollständig erstellt und jeder Balken bezeichnet, damit man auf dem Bauplatz das Ganze wieder genau gleich aufrichten kann. Bezeichnet werden die Balken nach den Himmelsrichtungen S, W, N, O und mit einer Zahl, die die Reihenfolge in der Wand festlegt. N 1 ist also der unterste Balken in der Nord-Wand, während O 4 den vierten Balken (von unten gezählt) in der Ostwand bezeichnet.
Früher wurden andere Zeichen verwendet; man bezeichnete die Wände mit römischen Ziffern und fügte hinter dieser Zahl Striche an, die den Rang in der Wand angaben. Statt N 1 setzte man also III /, und anstelle von O 4 setzte man IV //// ein. Leider finden wir diese Bezeichnungen am fertigen Bau nur selten. Auf die entsprechende Frage hin antwortete ein Zimmermann, man habe diese Zeichen stets am Ende der Balken angebracht und dann, bevor das Werkstück verwendet und eingesetzt worden sei, mit einem Hobelstoss entfernt.»

399 Janse 1981, S. 131:
«Wir wissen beispielsweise, dass das Holzgerüst der Scheune des Herrn Philips Wielant zu Nieuwport in Pittem hergestellt worden ist und die Einzelteile danach mit Wagen und Schiff verladen nach Nieuwport über eine Distanz von mindestens 50 km gebracht wurden. Der Dachstuhl der Kirche in Brielle bei Rotterdam wurde 1476 in Brüssel gezimmert, dann sind die Teile des 15 m breiten riesigen Bauwerks über 150 km weit nach Brielle gebracht worden.»

400 Nach Weiss 1991, S. 120 gehört der Fachwerkbau zu den «ältesten vorfabrizierten Häusern».
Grossmann 2004, S. 99 distanziert das Fachwerkhaus dagegen vom Begriff ‹Fertighaus›: «Das Fachwerkhaus wurde zwar vor dem Aufbau abseits von seinem Bauplatz zimmerungstechnisch vorbereitet, doch erst einmal aufgestellt, ist es an seinem Standort ‹verwurzelt› geblieben. Es fehlte ihm die angebliche Mobilität, die besonders Architekten des 20. Jahrhunderts gerne als vorbildhaft lobten. Es handelte sich weder um Fertighäuser – nicht einen einzigen Riegel konnte der Zimmermann sozusagen auf Vorrat produzieren, noch konnten Teile in dem fertigen Baugefüge nachträglich entfernt oder hinzugefügt werden, ohne die Stabilität des Hauses mehr oder weniger stark zu beeinflussen.»

platz musste dieses für den Transport wieder komplett zerlegt werden. Um auf dem Bauplatz die Hölzer wieder ihren vorgesehenen Positionen im Baugefüge zuordnen zu können, versahen sie die Zimmerleute zur eindeutigen Kennzeichnung im probeweise ‹angelegten› Zustand mit sogenannten ‹Abbundzeichen›[401], bevor sie wieder auseinander genommen wurden. Zum Schutz vor Witterung wurden diese Zeichen direkt ins Holz eingeschlagen[402]. Beim Aufrichten konnte ein Holz nach dem anderen verbaut und aufwändiges Suchen und Probieren vermieden werden. Darüberhinaus war es möglich – wegen der beschränkten Platzverhältnisse in der engen Stadt wohl auch zwingend –, bei Lagerung und Transport die Bauteile entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den einzelnen Bauelementen und der Reihenfolge der Montage zu stapeln und zu verladen[403]. Abbundzeichen sind weder eine Schmuckform noch sind sie eine Künstlersignatur. Sie spielen ausschliesslich im Bauprozess eine Rolle; im fertigen Bau ist ihre Sichtbarkeit unerheblich.

Verschiedene Systeme von Abbundzeichen

An den Abbundzeichen lässt sich gut die Aufgabe des Informationsumsatzes in der Hand-Werkzeug-Technik illustrieren. Die frühesten nachgewiesenen Abbundzeichen aus dem 11. Jahrhundert[404] sind Zählreihen, in denen einfache Zeichen wie Striche, quadratische oder kreisbogenförmige Ausnehmungen addiert werden. Bei langen Dachreihen konnten so leicht fünfzehn bis zwanzig Striche zusammenkommen[405]. Bei Blockbauten konnte die Addition umgangen werden, indem man einen durchlaufenden schrägen Strich über alle Balken einer Wand angebrachte[406]. Um die Lesbarkeit zu erleichtern, wurden die Zeichen ab dem 15. Jahrhundert in Gruppen oder Reihen angeordnet[407]. Spielte die Reihenfolge der Bauteile keine Rolle, kamen auch frei gestaltete Zeichen ohne erkennbaren Zusammenhang zur Anwendung[408].

---

401 Binding 1990, S. 7 (Fachterminologie für den historischen Holzbau Fachwerk – Dachwerk):
«A b b u n d . Arbeitsvorgang, in dessen Verlauf alle zu einer Holzkonstruktion gehörigen Hölzer auf dem Werk- bzw. Zimmerplatz, der Zulage, zurechtgelegt, abgelangt, die erforderlichen Verbindungen ausgearbeitet, und die Hölzer mit A b b u n d - z e i c h e n (Zeichen oder Zahlen) gekennzeichnet werden.»
Grossmann 2004, S. 193 trifft im Glossar eine Unterscheidung zwischen Abbundziffern und Abbundzeichen, die er als A b - b u n d m a r k e n zusammenfasst.
«A b b u n d z i f f e r : Ziffer zur Kennzeichnung der einzelnen Hölzer beim Abbund, vor dem Transport zur Baustelle und dem Aufrichten in alle Hölzer eingeschlagen.
A b b u n d z e i c h e n : Zeichen mit gleicher Aufgabe wie die Abbundziffer, jedoch nicht als Zahl (Ziffer) ausgeprägt.»

402 Cramer 1986 vermutet, dass bei den historischen Konstruktionen, die keine Markierungen zeigen, Zeichen mit Rötel aufgebracht wurden.

403 Grossmann 2004, S. 29

404 Janse 1981, S. 131 gibt das 11. Jahrhundert für das Auftreten von Abbundzeichen in Dachstühlen im niederländischen Sprachraum an; Cramer 1992, S. 28 nennt das 14. Jahrhundert als frühesten Beleg für Bundzeichen in Dachwerken in Südwestdeutschland

405 Cramer 1992, S. 29

406 Berg 1989, S. 243

407 Cramer 1992, S. 29, Janse 2000, S. 433ff

408 Cramer 1986, S. 138:

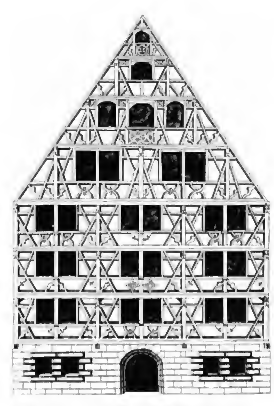


Abb. 32: Bauentwurf eines vierstöckigen Fachwerkhauses (Wilhelm 1668 Bd. 2, Tafel 1)



Abb. 33: Zimmerleute beim Abbinden und Aufrichten eines Fachwerkbaus nach Hironimus Rodler. Perspectiva, Frankfurt 1536 (Weiss 1991, S. 89)



Abb. 34: Zusammenpassbau eines Fachwerks am Abbundplatz, um 1920 (Schadwinkel 1986, S. 229)



Abb. 35: Abbundzeichen in Form von Strichadditionen, ohne Angaben (Gerner 2007, S. 90)



Abb. 36: Abbundzeichen ‹10› in Strichaddition am Kehlbalken eines Dachwerks von 1404 in Geisslingen, Deutschland (Cramer 1992, S. 29)



Abb. 37: Schwalbenschwanzquerblatt mit römischen Abbundzeichen, ohne Angaben (Gerner 1992, S. 106)



Abb. 38: Addition von Halbkreisen, ehemalige Stiftskirche Dietramszell (Holzer und Koeck 2008, S. 164)



Abb. 39: Römische Abbundzeichen auf einer Blockbauwand eines Pfarrhauses von 1752 aus Leikanger (Sogn), aufgestellt im Norsk Folkemuseum, Oslo (Foto: Autor)

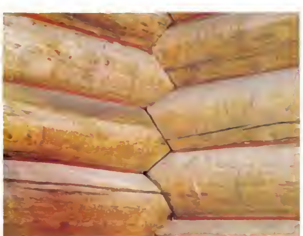


Abb. 40: Strichaddition auf einer Blockbauwand aus der Kommune Sauherad, aufgestellt im Fylkemuseet Skien, Norwegen (Berg 1989, S. 47)

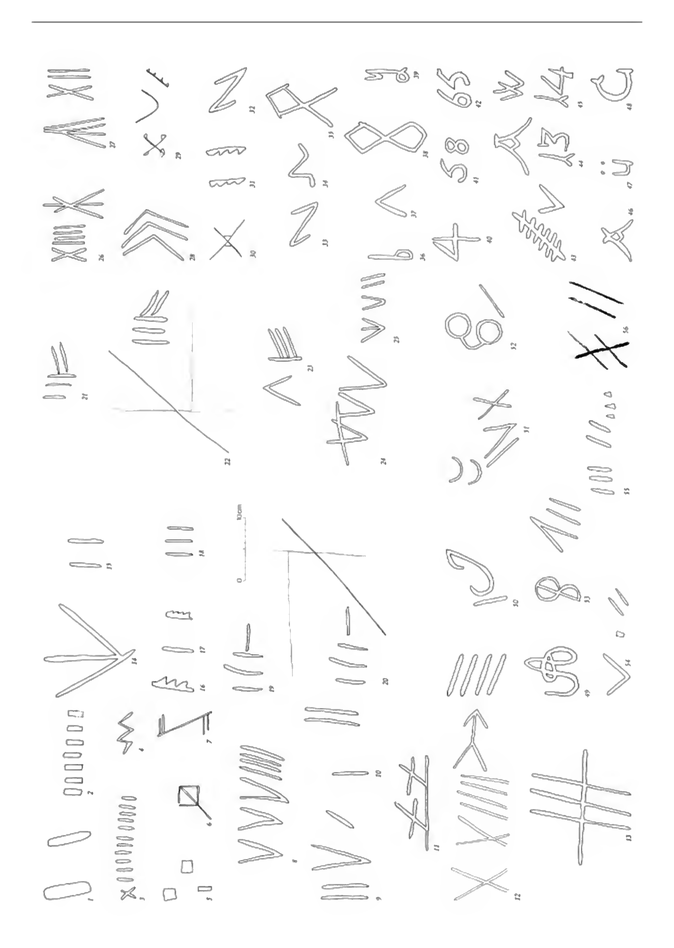


Abb. 41: Verschiedene Systeme von Abbundmarken: 1) Zahl 2, 13. Jh; 2) Zahl 7, um 1480; 3) Zahl 21, 1457; 4) Gebindezeichen, 1457; 5) Zahl 3, 15. Jh, 6) und 7) Bundzeichen ohne Zahlenwert, 1375; 8) Zahl 18, 1481; 9) Zahl 7 mit Bundmarke, 1481, 10) Zahl 2 mit Bundmarke, 1481; 11) reines Bundzeichen, 1481; 12) Zahl 24 mit Bundmarke für die vertikale Anordnung, 1481; 13) Zahl 3, 13. Jh; 14) Bundzeichen, 15) Zahl 2; 16 und 17) Zahlwerte 3 und 4 für linke bzw. rechte Seite der Gebinde im Dachwerk, 1668, 18 bis 23) Zahl 3 bzw. 6 an der rechten Traufe, mit Beistrich an der rechten Dielenwand und mit drei Beistrichen an der linken Traufe; ohne Anriss untere Riegelkette, 1767; 24) Zahl 15 mit Beistrich für die linke Dielenwand, 1651; 25) Zahl 7 mit Pfeil für die rechte Dielenwand, 1651, 26) Zahl 14 an der linken Traufe, 1839; 27) Zahl 12 an der rechten Traufe, 1839; 28) Zahl 3, 18. Jh.; 29) Zahl 19, 17. Jh.; 30) Zahl 10, 1673; 31) Zahl 8, 1673; 32) Zeichen für mittleres Gebinde, die übrigen bis hier durchnummiert, 1336; 33 bis 38) Arabische Zahlen 2, 3, 4, 6, 7, 8, 1529; 39 und 40, Zahlen 1 und 4, um 1810; 41 bis 48) Ziffern 58, 65 arabisch bzw. römisch an der Traufe, Ost 13 bzw. West 14 in der Diele, A, ä und C für 1, 26 und 3 am Giebel; 49) Zahl 4 Wand 1, 1787; 50) Zahl 1 Wand 9, 1787; 51 bis 53) Zahlen 16 und 7 an verschiedenen Innenwänden, 1770; 54 und 55) Gebinde 2 Ständer 5 Geschoss 1 1. OG, Gebinde 2 Ständer 3 Geschoss 3 1. Dachgeschoss, 1880, 56 Rötelmarkierung, Zahl 2 obere bzw. untere Riegelkette, 1763 (Ortsangaben siehe Grossmann 2004, S. 30ff)

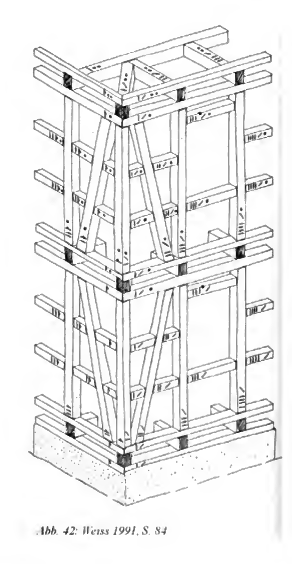


Abb. 42: Weiss 1991, S. 84

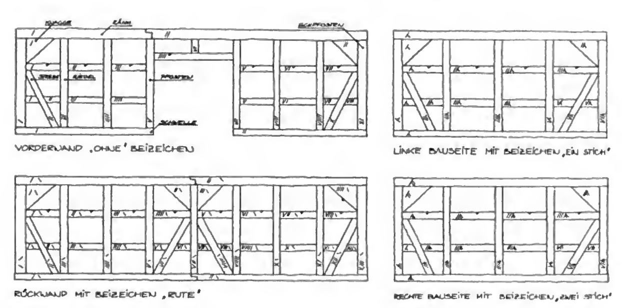


Abb. 43: Abbundzeichen in Mitteldeutschland. Systematische Logistik für individuelle Bauteile (Nimmerich 1978, S. 25)

Im 16. Jahrhundert ist eine konstruktive Zäsur im Fachwerkbau zu beobachten: An Stelle von Konstruktionen mit über alle Geschosse durchlaufenden Ständern und eingehängten Geschossbalken (Geschossbau, auch Ständerbau[409]) treten vermehrt einzeln konstruierte Stockwerke (Stockwerkbau); nach Joachim Radkau «die wichtigste Zäsur in der älteren Geschichte des Fachwerkbaus»[410].

Gleichzeitig können wir eine Zäsur in der Systematik der Abbundzeichen feststellen: Während zuvor zahlreiche individuelle, regional unterschiedliche, oft nur an wenigen Bauten belegte Systeme in Gebrauch sind, setzt sich ab dem 16. Jahrhundert das römische Ziffernsystem durch[411]. Es liegt nahe, darin eine Reaktion auf die gewachsene Anzahl der Einzelteile zu vermuten: Durch die Verwendung eines Zahlensystems mit variabler Bedeutung eines Striches konnte die Anzahl der Schnitte gesenkt werden, die zur Beschreibung einer Zahl notwendig waren. Aus arbeitstechnischen Überlegungen boten sich die römischen Ziffern gegenüber den arabischen an, weil sie aus Strichen zusammengesetzt sind und sich daher leicht mit dem Beil einschlagen lassen[412]. Da die Leserichtung durch die veränderliche Lage der Bauteile nicht eindeutig war, wurde die Zahl 4 als IIII und die Zahl 9 als VIIII ausgeführt, um eine Verwechslung mit den Ziffern 6 (VI) und 11 (XI) zu vermeiden[413]. Nichtsdestotrotz war die Nummerierung nicht immer einheitlich und wie schon die Detaillierung abhängig von der Arbeitsorganisation.

«Dass die Zimmerleute den Aufwand für die Bundzeichen stets nur soweit trieben, wie es unbedingt erforderlich war, zeigt ein Dachstuhl aus Moosburg in Bayern. Über dem massiven Kirchenschiff ist ein Dachstuhl mit acht Gespärren errichtet, die alle identisch sind. Jedes dieser Gespärre konnte über dem Kirchenschiff an beliebiger Stelle aufgestellt werden, weil keine Windaussteifungen erforderlich waren. Die Reihenfolge war also ohne Belang. Jedes dieser Gespärre ist in sich durchgehend mit einem Bundzeichen gekennzeichnet, die Abfolge und auch die Gestaltung der Zeichen ist aber ohne erkennbares System.»

409 Thinius-Huser 1998, S. 129ff

410 Radkau 2007, S. 76:
«Die wichtigste Zäsur in der älteren Geschichte des Fachwerkbaus ist der Übergang von der Geschoss- zur Stockwerkbauweise, der im 16. Jahrhundert vollzogen wurde. Ursprünglich reichten die senkrechten «Ständer» des Hauses bis zum Dach; als obere Stockwerke aufkamen, wurden die Querbalken, die diese trugen, in die Träger gewissermassen eingehängt oder «eingeschossen»: daher die Bezeichnung «Geschoss», die sich bis heute gehalten hat. Diese Bauweise hatte jedoch Nachteile, die im Lauf der Zeit immer stärker ins Gewicht fielen. Sie stammte aus einer Zeit, in der das Wohnen noch ganz auf die bäuerliche Deele, die zentrale Halle, ausgerichtet war, sie passte weniger in eine Zeit, in der die Stube – eine bahnbrechende Veränderung der gesamten Wohnkultur – zum Kernelement des Hauses wurden. Je höher die Häuser wurden, desto schwerer wurde es auch, für die bis zum Dach durchlaufenden Ständer entsprechend grosse Eichen aufzutreiben. Die Möglichkeit, in bestehenden Häusern obere Stockwerke auszubauen, war beschränkt, und begrenzt war auch die Belastbarkeit der Balken, die die oberen Stockwerke trugen.
All diese Probleme löste die Stockwerkbauweise, in der jeder Stock für sich gezimmert auf den darunterliegenden aufgesetzt wurde. Nun brauchte man keine gewaltigen Eichenstämme mehr und konnte trotzdem immer höher bauen.»

411 Cramer 1986, S. 140 , Grossmann 2004, S. 27
Dies bedeutet jedoch nicht, dass das römische Ziffernsystem die anderen Systeme gänzlich verdrängt hatte: Janse 1981, S. 133 stellt fest, die mittelalterliche Strichaddition habe sich im ländlichen Bereich bis ins 19. Jahrhundert erhalten.

412 Es gibt aber auch Beispiele für die Anwendung der arabischen Ziffern: Grossmann 2004, S. 29 stuft die Verwendung von arabischen Ziffern für das nördliche Westfalen und das anschliessenden Niedersachsen im 18. und 19. Jahrhundert als typisch ein, benennt aber auch einzelne Beispiele aus dem 16. Jahrhundert.

413 Janse 1962, S. 308f., Weiss 1991, S. 84, Grossmann 2004, S. 27; Holzer und Köck 2008, S. 54
Es ist anhand der angegebenen Literatur nicht ganz nachzuvollziehen, wie die ‹IV› mit der ‹VI› zu verwechseln ist, da die Leserichtung durch die Ausrichtung des V gegeben zu sein scheint. Grossmann 2004 fügt dazu an: «Der Zimmermann addierte grundsätzlich, nie hat er subtrahiert.»

Beizeichen

Der Stockwerkbau brachte aber noch eine neue Herausforderung mit sich: Da nun in stockwerksbezogenen Baueinheiten konstruiert und gedacht wurde, mussten die Abbundzeichen über die fortlaufende Nummerierung hinaus auch Informationen zur Zuordnung der Holzteile im dreidimensionalen Gebilde des Hauses zu Dachwerk, Fassaden, Innenwänden und Geschossen enthalten. Jede Baueinheit erhält daher neben der durchlaufenden Bezeichnung der einzelnen Bauteile ein Beizeichen, das durch fahnenartige Schrägstriche an den Ziffern oder nebengestellte Symbolzeichen wie kleine Dreiecke gebildet wurden[414].

Dabei darf man sich aber nicht der Illusion hingeben, das sich die Gesetzmässigkeiten eines Systems konsistent durch ein gesamtes Gebäude fortsetzten – es war nicht ungewöhnlich, dass jeder am Bau arbeitete Zimmermann Reihenfolge[415] und Systematik[416] der Kennzeichnung nach seinen persönlichen Vorstellungen abwandelte, ohne dass dadurch die Zuordnung uneindeutig und das System funktionsuntüchtig wurde.

In der Literatur werden die Abbundzeichen meist in Verbindung mit Fachwerkbauten behandelt. Dies mag daran liegen, das bis auf wenige repräsentative Gebäude in Mitteleuropa bis in das 18. Jahrhundert hinein alle Häuser als Fachwerke errichtet wurden[417]. Abbundzeichen

---

414 Janse 1962, S. 309. Nimmerich 1978, S. 24, Cramer 1992, S. 28 ff. Grossmann 2004, S. 27
konkrete Beispiele von Gerner 1994, S. 70:
«Die Hauptfassade [...] wird mit geraden römischen Zahlen ohne Beizeichen gezeichnet [...]. Die Rückseite erhält das Beizeichen ‹Rute›, die linke Seitenwand das Beizeichen ‹Stich› und rechte Seitenwand das Beizeichen ‹Zweistich›. Die Innenwände erhalten je nach Richtung Ruten oder Stiche als Beizeichen, bei mehreren Stockwerken treten dazu noch Stockwerkszeichen.»
sowie Weiss 1991, S. 84
«Für die erste Längswand eine Rute, für die zweite zwei Ruten usw. Ausstiche oder Picken für Querwände. Stockzeichen: um die (meist gleichen Hölzer verschiedener Stockwerke zu erkennen. Obzeichen für das höherliegende Holz bei gleichen Zahlen. Ist bei mehreren Riegelzügen klar, welcher Riegel mit gleicher Nummer oben hingehört, wird es bei identischen Fensterbrüstungen und -stürzen schwieriger. Hier ist beim Fenstersturz das Obzeichen nötig. Hohleisen-Ausstich für Wände, die zu keiner Bauachse parallel stehen.»

415 Janse 1981, S. 134:
«Es kann vorkommen, dass beispielsweise die linke Längswand von Ost nach West nummeriert ist und die rechte von West nach Ost. Ich habe als weiteres Beispiel die Zeichen einer Querwand des Torhauses Hof Allnastrasse 1 in Bellnhausen (1825) aufgenommen. Hier zeigte sich, dass der Zimmermann fast alle Verbindungen und Hölzer gekennzeichnet hat, als die Wand in der Werkstatt auf dem Boden lag; die meisten Hölzer scheint er gekennzeichnet zu haben, als er die Wand von oben her überblickte, teilweise stand er offenbar zwischen den Streben und Riegeln und hat von einem Standpunkt aus die umliegenden Hölzer überblickt.»
Holzer und Köck, S. 54f:
«So sind im Dachwerk des Langhauses der Pfarrkirche in Altenerding die ersten 15 Gespärre vom Westende des Daches her abgebunden und mit den Ziffern I bis XV bezeichnet. In der Mitte des Daches wechselt die Bundseite auf die Ostseite, und die Zählung der Gespärre beginnt wieder neu mit I, bis zum Binder XIV am Chorbogen. Die systematische ‹Zweiteilung› der Arbeit bei diesem Dach weist darauf hin, dass beim Abbinden des Daches zwei Arbeitsgruppen parallel zueinander gearbeitet haben und möglicherweise auch das Aufrichten der Dachhälften synchron erfolgte.»

416 Janse 1981, S. 131 nennt ein Beispiel aus Süd-Limburg in den heutigen Niederlanden:
«Vielmehr scheint es auch so, als hätte jeder Zimmermann sein eigenes System gehabt. Das bestätigt sich in einem Haus in Mheer, das nach einem Brand 1820 von zwei Zimmermannsgruppen wiederhergestellt wurde, jede mit einem anderen System. Die Dachbinder haben teilweise eine dritte Art von Zeichen, mit einem Zwerchbeil eingehauene Striche mit Fahnen.»
vgl. auch Cramer 1992, S. 34

417 ein Beispiel gibt die Bestandsaufnahme von Konovalov 1985, S. 14.
«Der Baubestand betrug gegen Mitte des 17. Jahrhunderts in Hannoversch-Münden an die 600 Bauwerke. Rein numerisch gesehen waren 99% der Bauten Fachwerkhäuser. Zu dieser Gruppe gehören alle Bürgerhäuser, auch die Dienstwohnungen wie das Pfarrhaus und das Haus des Ministerialbeamten, Wirtschaftsbauten wie die nicht mehr vorhandenen Mühlen usw., die

sind aber allgemein ein Phänomen des Holzbaus der Hand-Werkzeug-Technik: Sie kamen nach den gleichen Systematiken im Blockbau[418] sowie in den meist von aussen nicht sichtbaren Dachkonstruktionen[419] zur Anwendung.

Rezeptionsgeschichte der Abbundzeichen

Obwohl die Abbundzeichen in der Bautechnik der Hand-Werkzeug-Technik augenscheinlich eine Schlüsselrolle einnehmen, hat es lange gedauert, bis man ihnen diese in ihrer Rezeptionsgeschichte zuerkannt hat. In Bauhandbüchern des 19. Jahrhunderts finden sie gar keine Erwähnung oder werden wie von dem Architekten Andreas Romberg (1806–1868) als nicht erwähnenswert eingestuft[420]. Es scheint, als wäre diese Methode – wie das gesamte zur Planung eines Holzbaus notwendige Wissen[421] – lange nur mündlich überliefert worden und so selbstverständlich gewesen, dass sich eine schriftliche Erläuterung erübrigte. Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein waren Abbundzeichen Teil der Baupraxis. Adolf Opderbecke 1909[422] und sogar noch Hugo Ebinghaus im Jahr 1939[423] stellen die Abbundzeichen in unveränderter Form als aktuelle Anreiss- und Abbundtechnik vor.

Die Erschliessung für die Denkmalpflege schreibt sich der Niederländer Herman Janse (1926–2006) zu, der 1955 während der Untersuchung der Gewölbe der Oude Kerk in Amsterdam

alle nicht mehr exitierende Schule zwischen St. Blasii-Kirche und Rathaus, aber auch die Wehrgänge der Befestigungsanlage, der Überbau der Steinbrücke und Teile der zum Schoss ausgebauten Burg. Aus Naturstein errichtet worden sind die beiden Kirchen, die Kapellen, die nur noch in Resten vorhanden sind, dei Befestigungsanlagen und der grösste Teil der Burg, die Brücke über die Werra und die in den 80er Jahren des 16. Jahrhunderts ausgebauten Schlagde am Flussufer.»

418 Berg 1989, Bd. 1, S. 243.
«Alle aus dem Mittelalter erhaltenen Häuser zeigen irgendeine Art der Kennzeichnung der Balken. Am häufigsten wurden einfache Striche verwendet, I, II, III usw. Daneben treten römische Ziffern auf. Selten wurde eine durchlaufender schräger Strich über alle Balken einer Wand angebracht. Derartige Kennzeichnungen findet man übrigens auch an den Wänden der Stabkirchen.»
zum Blockbau vgl. auch Janse 1981, S. 142

419 Janse 1962, S. 308ff, Janse 1981, Janse 2000, S. 431ff, Cramer 1992, S. 28 ff

420 Romberg 1846, S. 50:
«Das Abbinden und Richten der Fachwerkwände hat keine Schwierigkeiten und gehört daher zu den einfachsten Arbeiten des Zimmermanns. Die einzelnen Teile der Holzverbindung werden auf dem Zimmerplatz gezeichnet, auseinander genommen und dann auf dem Bauplatz nach diesen Zeichen zusammengestellt. Zum Abbinden wie Richten gehört eine so grosse Anzahl von Handierungen und die Art und Weise ihrer Ausführung ist so verschieden, dasss hier eine Beschreibung nur unvollkommen und für die Praxis selbst von keinem Erfolg sein würde. Jede voneinander abweichende Grundrissform des Gebäudes macht mehr oder weniger ein anderes Verfahren beim Abbinden und Richten notwendig.»

421 Weiss 1991, S. 124:
«Projektpläne von Fachwerkbauten sind uns erst aus dem 18. Jahrhundert und nur von eher herrschaftlichen Häusern im Original erhalten. Entweder wurden Pläne erst gar nicht angefertigt oder aber nach Vollendung des Bauwerks vernichtet. Gestaltungsfreiheit im Bauen, wie sie die heutige Architektur kennt, bestand für die damaligen Handwerker nicht.»
vgl. Hermann 1987, S. 55:
«Die in spätmittelalterlichen Lehensbriefen festgehaltenen Bestimmungen für einen Neubau beschränkten sich in der Regel auf die Anzahl Stüde und Räume, die der Bau umfassen sollte. Spätere Beschreibungen eines Neubaus beinhalteten häufig seine Längen- und Breitenmasse.»

422 Opderbecke 1909, S. 65

423 Ebinghaus und Fritsche 1939, S. 285 ff

die dort vorgefundenen Abbundzeichen systematisch dokumentierte[424]. In der Restauration werden die Elemente heute mit Ölkreide markiert[425] oder es werden «mit Zahlen versehene Schildchen verwendet», beispielsweise Blechplaketten[426], die den Aufklebern aus den Pultdruckern heutiger CNC-Abbundanlagen recht ähnlich sind. Diese Parallele der hand-werkzeugtechnischen Abbundzeichen zur Bauteilkennzeichnung der Informations-Werkzeug-Technik macht die Abbundzeichen im Hinblick auf die weiteren Überlegungen sehr interessant.

3.4.5 Bemessung und Masseinheiten

Inwieweit auf den Baustellen der Hand-Werkzeug-Technik mit Massystemen gearbeitet und in konkreten Längeneinheiten gemessen wurde, fällt mir anhand der Quellenlage nicht leicht einzuschätzen. Anhand der überlieferten Messwerkzeuge will ich einige vorsichtige Aussagen wagen.

Absolutes Mass
Heute selbstverständlich erscheinende Vereinbarungen für Masse wie das metrische System und die – mit Ausnahme der Länder Liberia, Myanmar und USA – global eingeführte Masseinheit ‹Meter› lagen im weitaus längsten Teil der Periode der Hand-Werkzeug-Technik nicht vor. Es war nicht vor 1791, also zu Beginn der Industrialisierung, dass die französische Revolutionsregierung mit der Entwicklung eines verbindlichen Systems für Längen- und Gewichtsmasse begann, welches die Voraussetzung schaffen sollte, über Vereinheitlichung interpretationsfrei zu kommunizieren. Der ‹Meter› als neues Längenmass sollte sich dabei nicht nach Körpermassen, sondern nach der Erdfigur als globalem Bezugspunkt richten und – beliebig festgesetzt – den zehnmillionsten Teil der Entfernung vom Pol zum Äquator auf dem Meridian von Paris betragen. Dieses System konnte denn erst 1875 – 84 Jahre später – in einer Hochphase der Industrialisierung[427] von siebzehn Staaten in der ‹Convention du Mètre› als gemeinsamer Standard verabschiedet werden[428].
Zuvor hatte jedes Land sein eigenes Masssystem, dass vielfach auf abgeleiteten Körpermassen wie dem ‹Fuss› oder der ‹Elle› beruhte. Der Wirtschaftshistoriker Harald Witthöft (*1931)

---

424 Janse 2000, S. 42 und S. 431ff. vgl. auch Janse 1962, S. 308

425 Weiss 1991, S. 83

426 Nimmerich 1978, S. 24

427 Dieser Zeitpunkt entpricht etwa dem Zenit des zweiten Kondratjew-Zyklus, auch ‹Eisenbahn-Kondratjew› (1840–1890); vgl. Schumpeter 1961

428 Ahnert und Krause 2000, Bd. 1 S. 204 (nach Meyers Konversationslexikon 1877. Leipzig : Bibliographisches Institut, 1877): «Die Staaten des Norddeutschen Bundes (1866–1871; Militärbündnis des Übergangs zwischen Deutschem Bund und Deutschem Reich, Anm. d. A.), zu denen u.a. Preussen und die sächsischen Staaten gehörten, hatten mit Gesetz vom 17. Aug. 1868 die Masseinheit Meter (m) als verbindlich eingeführt. Dem Norddeutschen Bund sind 1870 auch Baden, Hessen, Bayern und Württemberg beigetreten.»

schreibt: «Die eigentliche Grundlage [...] war ein Denken und Naturerfassen in Relationen, dass in realen Masssystemen seinen beständigen Ausdruck fand.»[429] Innerhalb der über dreissig zerrissenen Kleinstaaten des Deutschen Bundes gab es beinahe ebenso viele Systeme, die deutlich voneinander abwichen; so war die Einheit Zoll in Bayern-Rheinpfalz um 42 % grösser ist als die in Sachsen Weimar[430]. Innerhalb der einzelnen Regionen Europas betrugen die Abweichungen mitunter mehr als 70%[431].
Auf zeitgenössischen Abbildungen werden die Architekten und Zimmermeister häufig mit einem Zollstock in der Hand dargestellt. Man kann daraus vermuten, dass der Masstab ein Statussymbol war, der nicht jedem Arbeiter auf der Baustelle zur Verfügung stand und dessen Nutzung als Privileg galt. Zusätzlich standen etwa drei Meter lange ‹Baumassstäbe› zur Verfügung, die vor der Meterkonvention nur eine ziemlich grobe Masseinteilung hatten[432].
Das absolute Mass spielte im Bauablauf nur zu Beginn der Arbeiten eine Rolle, wenn nämlich auf dem Zimmerplatz die Bauteile mit dem Schnurschlag in natürlicher Grösse aufgezeichnet werden. Das Anfertigen eines Risses im Massstab 1:1 war nicht holzspezifisch, sondern beispielsweise auch Ausführungsgrundlage der Steinmetze[433].

Relatives Mass

Von diesem massgeblichen Riss wurde die Geometrie der Bauteile nicht numerisch erfasst, sondern direkt zeichnerisch auf die Hölzer übertragen, ohne dass sie dazu in absoluten Massen erfasst wurden. Peter Benje schreibt: «Je weiter im Rahmen der fortschreitenden Arbeit die Bildung des Werkstücks voranrückte, um so mehr gewann das tatsächliche Stück gegenüber dem Aufriss an Autorität; gleichwohl blieb der gezeichnete Aufriss verbindlich»[434]. Die

---

429 Witthoft 1990, S. 192

430 errechnet nach Angaben in Ahnert und Krause 2000, Bd. 1 S. 204
vgl. dazu Alberti 1957, S. 56.
«Das ehemalige Grossherzogtum Baden darf sich rühmen, besonders reich an lokalen Massen gewesen zu sein. Es gab dort um 1800 112 verschiedene Ellen, 92 Flächenmasse, 65 Holzmasse, 163 Getreidemasse, 123 Ohme und Eimer, 63 Schenkmasse und 80 Pfunde (nach einer Notiz im Mathem. Physik. Salon des Zwingers zu Dresden.»

431 Mark 1993, S. 10

432 Schadwinkel 1986, S. 44:
«Ausser den Zollstöcken wurden auf dem Abbundplatz zum Abmessen grösserer Längen sogannte Baumassstäbe verwendet. Bei Halle (Johann Samuel Halle, Werkstatte der heutigen Künste. Leipzig 1761–79, Bd. 3, S. 7f) heissen sie ‹Maasstock› und bei Sprengel ‹Fussstock›, in beiden Fällen ist ihre Länge mit 10 rheinländischen Fuss angegeben. [...] Sie waren aus astfreiem Kiefernholz und besassen eine grobe Masseinteilung.»
vgl. Grossmann 2004, S. 25: «Zum Messen dienten Latten; die Balkenlagen wurden zur Kontrolle übereinander gelegt.»

433 Binding 1993 beschreibt den Riss anhand des gotischen Masswerks.

434 Benje 2002, S. 196f beschreibt die ‹Bedeutung des Risses› für das Tischlergewerbe:
«Die vorgerichteten Hölzer wurden jeweils in den Aufriss, d. h. auf die Zeichnung gelegt und an ihrer Bezugslinie in der Zeichnung ausgerichtet, so dass nun anschliessend die entsprechende Länge oder die Breite des Teils, wie sie im Aufriss gezeichnet ist, direkt auf das Holz übertragen, ‹herübergerissen› werden konnte. Das Übertragen von Längen, Breiten usw. durch Ausmessen war unüblich, es war auch ungenauer, da sich die Möglichkeit ausgesprochener Übertragungsfehler vergrösserte, sich aber auch die nie ganz zu vermeidende Ungenauigkeit der Übertragungen, statt sich auszugleichen, durchaus auch verstärken konnte. Es war überdies auch nicht nötig, die Länge beispielsweise einer Leiste in einer Millimeterangabe zu wissen, denn der Aufriss verbürgte, dass die aus ihm heraus angerissene Leiste passte. Es musste nur eben genau abgeschnitten oder gehobelt werden, eine Anforderung, auf welche die handwerksmässig arbeitenden Gesellen mit einer ausserst

massliche Referenz eines Bauteils war keine absolute Angabe, sondern die Ableitung aus der darüberliegenden Bauteilhierarchie bzw. aus dem benachbarten Bauteil. Die Abmessungen wurden also durch immer weiteres zeichnerisches Ableiten ermittelt. Besonders augenfällig ist dies bei den Holzverbindungen: Bauteile, die mit Hand-Werkzeug-Technik verarbeitet wurden, sind im Zusammenpassbau nur jeweils wechselseitig voneinander abhängig. Kamen Geometrien häufig vor, wurden Lehren als Hilfsmittel zum Anreissen eingesetzt; in diesem Fall sind die Bauteile relativ von der Lehre abhängig[435].
In jedem Fall ist die Geometrie einer Holzverbindung relativ an das jeweils benachbarte Bauteil angeglichen. Es spielt bei den Holzverbindungen keine Rolle, ob das erste Teil oder die Schablone nach absoluten Massen erstellt wurde oder nicht. Entsprechend sind in der Literatur Holzverbindungen bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts entweder ohne Masse oder mit relativer Bemassung in Proportionsverhältnissen angegeben[436].

virtuosen Handhabung der Werkzeuge durchaus eingeübt waren.
Je weiter im Rahmen der fortschreitenden Arbeit die Bildung des Werkstücks voranrückte, um so mehr gewann das tatsächliche Stück gegenüber dem Aufriss an Autorität, gleichwohl blieb der gezeichnete Aufriss verbindlich.»

435 Sax 1833, Bd. 3, S. 29:
«Die Gesperre werden nach einem Muster, das ist dem Lehrgesperre gemacht, und alle bezeichnet, welche Bezeichnung dann auch an den Bundtrahmen, Stichen, Kehlbalken, kurz an allen übrigen Theilen des ganzen Dachstuhls sehr notwendig ist, damit die zusammengehörigen Theile leichter beym Aufschlagen zu finden sind.»

436 vgl. unvermasste Holzverbindungen in Wilhelm 1668; Schubler 1731 und Diderot und d'Alembert 1763
r e l a t i v vermasste Holzverbindungen bei Romberg 1846 und Opderbecke 1905, S. 10f.
a b s o l u t vermasste Holzverbindungen (ergänzt durch relative Massverhältnisse) bei Stade 1904 und Baudouin 1906.

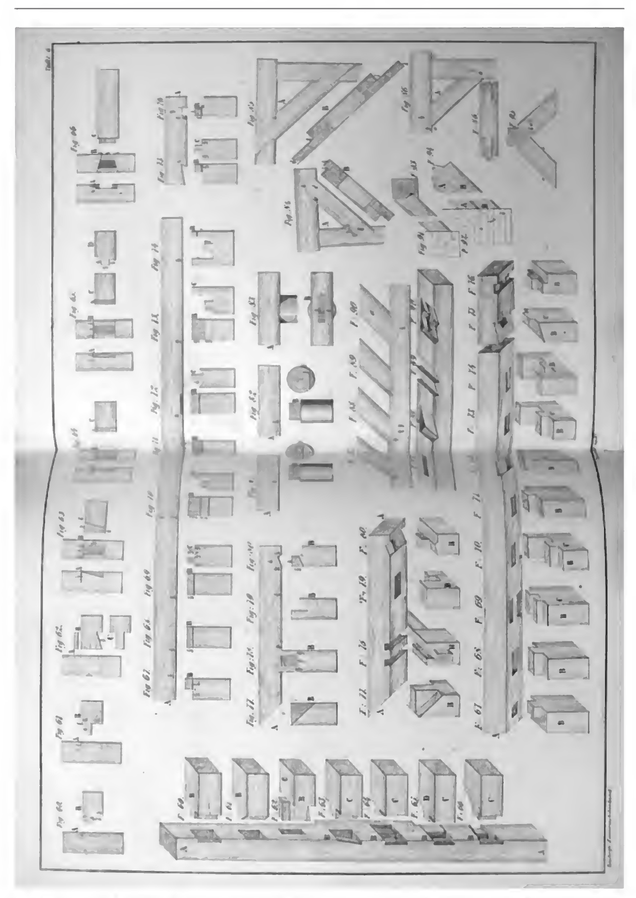
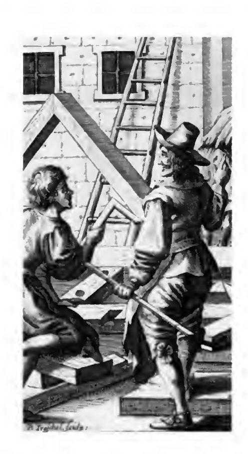


Abb. 44: Handwerkliche Holzverbindungen mit Proportionsangaben der Massverhältnisse (Romberg 1846, Tafel 8)

Land	*1 Zoll*	*1 Fuss*	*1 Ruthe*	*1 Elle*
Baden	3,00 cm	10 Zoll	10 Fuss	2 Fuss
Bayern	2,92 cm	10 Zoll	10 Fuss	2 41/48 Fuss
Bayern Rheinpfalz	3,33 cm	10 Zoll	—	120 cm
Braunschweig	2,38 cm	12 Zoll	16 Fuss	2 Fuss
Bremen	2,41 cm	12 Zoll	16 Fuss	2 Fuss
Frankfurt/M.	2,37 cm	12 Zoll	12 1/2 Fuss (Feldruthe)	0,547 m
Hamburg	2,39 cm	12 Zoll	16 Fuss (Geestruthe)	2 Fuss (kurze Elle)
Hannover	2,43 cm	12 Zoll	16 Fuss	2 Fuss
Hessen-Darmstadt	2,50 cm	10 Zoll	10 Fuss (1 Klafter)	24 Zoll
Lübeck	2,40 cm	12 Zoll	16 Fuss	2 Fuss
Mecklenburg-Schwerin	2,39 cm	12 Zoll	16 Fuss (1 Feldruthe)	—
Oldenburg	2,47 cm	12 Zoll	18 Fuss	0,581 m
Preussen	2,615 cm	12 Zoll	12 Fuss	0,667 m
Sachsen	2,36 cm	12 Zoll	15 1/6 Fuss	2 Fuss
Sachsen-Weimar	2,35 cm	12 Zoll	16 Fuss	2 Fuss
Württemberg	2,86 cm	10 Zoll	10 Fuss	61,4 cm

Tabelle 11: *Masseinheiten in Deutschland vor 1868 (nach Angaben in Ahnert und Krause 2000, Bd. 1 S. 204)*



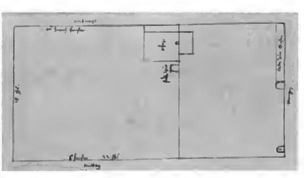


Abb. 45: *Grundriss-Skizze eines Schul- und Schützenhauses 1684, Elsau bei Winterthur, Schweiz (Hermann 1997, S. 45)*



Abb. 46: *Masstäbe aus Holz 19. Jh mit Einkerbungen, Zoll- und Zentimetereinteilungen (Schadwinkel 1986, S. 45)*

Abb. 47: *Zollstock als Statussymbol der Zimmermeister (Wilhelm 1668 Bd. 1, Tafel 45, Ausschnitt)*

4 Die zweite Welle: Maschinen-Werkzeug-Technik

Werkzeug und Baustoff in Wechselwirkung bestimmen die Leistung der Werkstätten.
Beide muss man genau kennen, wenn man die Regeln für die beste Bearbeitbarkeit geben will.
Aber die Meisterung des Werkzenges gibt überall den Ausschlag.
Georg Schlesinger[437]

Während der Werkstoff Holz ohne Zögern mit der Hand-Werkzeug-Technik in einem Atemzug genannt wird, geht man bei der Maschinen-Werkzeug-Technik weniger spontan die Verbindung ein. Dies liegt daran, dass der Werkstoff Holz bei der rapiden und nachhaltigen Umgestaltung von Wirtschaft und Gesellschaft an der Schwelle zum 19. Jahrhundert, die uns als ‹Industrielle Revolution› bekannt ist und die wir mit Maschinen assoziieren (‹Maschinenzeitalter›[438]), im Vergleich zu anderen Stoffen nur eine Nebenrolle spielt. Die grossen Fabrikanlagen des 19. Jahrhunderts nutzten das Eisen als Konstruktionsmaterial für Arbeits- und Kraftmaschinen und die Kohle als Energieträger[439]. Holz dagegen war etwas, was man sowohl im Maschinenbau als auch in der Energietechnik abzulösen versuchte. Der Technikhistoriker Jürgen Ruby beobachtet diese Haltung am Begriff der Werkzeugmaschine im Maschinenbau: Vor Mitte des 19. Jahrhunderts wurden noch alle formverändernden Maschinen als Werkzeugmaschine bezeichnet, Textilmaschinen eingeschlossen. Seit 1860 beschränkte man sich auf spanende Holz- und Metallbearbeitungsmaschinen. In den Jahren nach 1900 formte sich der heute in DIN 69651 festgehaltene Begriff der Werkzeugmaschine, der sich allein auf eine Arbeitsmaschine zur Formveränderung von metallischen Werkstoffen bezieht[440]. Peter Benje stellt fest, dass nach der Jahrhundertwende auch das Interesse am Erstellen umfassender Publikationen über Holzbearbeitungsmaschinen erlosch[441].

---

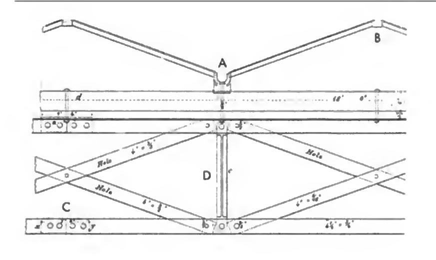
437 Schlesinger 1932, S. 3

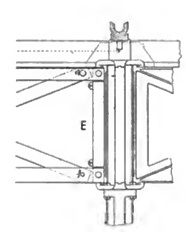
438 Der Begriff des ‹Maschinenzeitalters› ist geprägt durch Carlyle 1829:
«It is the Age of Machinery, in every outward and inward sense of that word; the age which, with its whole undivided might, forwards, teaches and practises the great art of adapting means to ends.»

439 Paulinyi 1989, S. 133

440 Ruby 1997, S. 2, Bezug nehmend auf DIN 69651 Teil 1 bis 6: Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung. Berlin : Beuth, 1985 (gegenwärtig Entwurf, z.T. Vornorm)
Paulinyi 1991a, S. 268 beschreibt diese Unzulänglichkeit anhand eines Beispiels.
«Konsequent zu Ende gedacht verändert sich also eine und dieselbe Bohrmaschine, deren Funktion das Bohren als eine Untergruppe des Trennens ist, aus einer Werkzeugmaschine in eine Holzbearbeitungsmaschine, wenn man mit ihr anstatt in Metall, mit einem anderen oder auch demselben Bohrer, in ein Holzbrett ein Loch bohrt.»

441 Benje 2002, S. 9ff





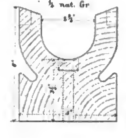




Abb. 48: Kristallpalast als Holzkonstruktion: Binder aus Holzelementen in der Hauptträgerlage, Nebenträgerlage mit integrierter Glashalterung und Wasserableitung (Ungers 1967)

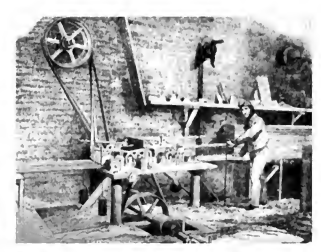


Abb. 49: Joseph Paxtons Kehlmaschine bei der Vorbereitung der Fenstersprossen für den Crystal Palace, zeitgenössischer Stich (Louw 1992, S. 33)

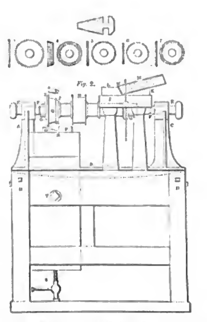


Abb. 50: Paxtons Kehlmaschine, oben ein Schnitt einer Profilleiste zur Glashalterung (Chadwick 1961, S. 86)

Dabei erfuhr die Holzbearbeitung – als einziges vorindustrielles Baugewerbe – die Industrielle Revolution in ihrer vollen Auswirkung[442]. Die Bedeutung des Holzes als Werkstoff wird in der Maschinen-Werkzeug-Technik aus den gleichen Günden übersehen wie in der Hand-Werkzeug-Technik, denn es waren nicht die spektakulären Bauten oder Bauelemente, in denen Holz zum Einsatz kam. In die ästhetischen Postulate der Moderne mit ihrer Forderung nach abstrakten, detaillosen Volumen liess sich der Werkstoff zudem nur schwer integrieren[443]. Kaum jemand wird bezweifeln, dass das auf den Prinzipien der Standardisierung beruhende ‹industrielle Haus› von seinen Anfängen als ‹Balloon Frame› im 19. Jahrhundert bis heute (von kurzen Zwischenspielen abgesehen) in den meisten Fällen ein Holzbau ist[444]. Weniger bekannt ist hingegen, das im ‹Crystal Palace› auf der Weltausstellung im Londoner Hyde Park 1851 – schon von Zeitgenossen als Ausgangspunkt einer «Revolution in der Architektur» vorhergesagt[445], von Konrad Wachsmann ein Jahrhundert später als ‹Wendepunkt des Bauens› bestätigt[446] – nicht nur standardisierte Stahlprofile und Glassegmente zum Einsatz kamen, sondern auch 17.000 m³ Holz, die in 320 km Profilleisten für die Glashalterung und Wasserableitung in der Nebenträgerlage umgewandelt wurden[447]. Für deren Profilierung setzte sein Erbauer Joseph Paxton eine dampfbetriebene Kehlmaschine ein, die er zwischen 1837 und 1840 beim Bau des Grossen Gewächshauses in Chatsworth selbst entwickelt hatte[448].

---

442 Louw 1992, S. 21:
«Woodwork was the only traditional building craft to experience the full force of the industrial revolution during the nineteenth century in Britain.»

443 Kapfinger 2004:
«Könnte es sein, dass das Form-Ideal, die Neu-Sprache der Moderne im fundamentalen Gegensatz zu allen Holzqualitäten stand? Die Moderne orientierte sich an den glatten, profillosen Flächen der stählernen Schiffsrümpfe, an den genieteten und geschweissten Diagonalen der Stahlbrücken, an den detaillosen Knotenpunkten der Eisenbeton-Skelettbauten, an der klinisch aseptischen, weissen Lichtfülle der Sanatorien, die gegen die damals grassierende Tuberkulose entstanden, an den völlig glatten, geweissten Putzflächen mediterraner Bauten. Die spurlose, fugenlose, ornamentlose, optisch gewichtslose Fläche maschineller Produktion war das Formideal der Moderne. Und im Holzbau ist (oder war) das Gegenteil wesentlich. Da musste jede Fläche zusammengesetzt werden und hat so in sich schon Richtungen. Die Holz-Syntax von Stütze, Balken, Fläche, Teilung, Fuge, Rahmen, Verkleidung, die thermische Beweglichkeit usw. – das läuft immer auf einen ‹zusammengesetzten› Charakter hinaus, der in der alten Tradition eben organisch zum Ornament führte. Und das stand im krassen Gegensatz zur Ideologie der Moderne. Erst Jahrzehnte später sollte der Holzbau sich technologisch so weit entwickeln, dass auch damit grosse, monolithische Flächen gebaut werden, grosse Auskragungen entstehen konnten, das ‹freie Spiel› von optisch homogenen horizontalen und vertikalen Scheiben usw.»
Solt 2008:
«Bei den Exponenten der frühen Moderne löste der Baustoff Holz zwiespältige Reaktionen aus. Einerseits kam er den Forderungen nach Materialgerechtigkeit, Modularität, menschlichem Massstab, Rationalisierung, Standardisierung und Vorfabrikation entgegen. […] Andererseits lässt der Holzbau nur bedingt jene Abstraktion zu, die Le Corbusier für sein ‹jeu savant, correct et magnifique des volumes› postuliert (vgl. Le Corbusier 1922, S. 157ff). Henry-Russell Hitchcock und Philip Johnson empfehlen denn auch entgegen aller konstruktiven Logik, bei Holzverkleidungen möglichst alle Überlappungen, Fugen und Umrahmungen zu vermeiden, weil diese die Kontinuität der Oberfläche unterbrechen könnten (vgl. Hitchcock und Johnson 1932.»

444 vgl. Kelly 1951, Junghanns 1994, Simon 2005

445 Bucher 1851, S. 174

446 Wachsmann 1959, S. 14; vgl. Mumford 1934, S. 154f:
«…its cock-crow of triumph was the great industrial exhibition in the new Crystal Palace at Hyde Park in 1851…»

447 Louw 1992, S. 33f («600'000 cubic feet of timber, 200 miles length of sash bars»)

448 Louw 1992, S. 27. Paxton rühmte sich sogar, seine Maschine «became the type from which all the sash bar machines found in use throughout the country at the present time are taken (1851, Anm. d. A.).»

4.1 Maschinen in der Holzbearbeitung

Die Anfänge der Maschinen-Werkzeug-Technik lassen sich weit zurück ins ‹hölzerne Zeitalter› verfolgen und sind erst einmal unabhängig von der Industriellen Revolution[449]. Die Bearbeitung von Holz verlangte einen Krafteinsatz, der an die Grenzen der Muskelkraft stösst. Daher und auch weil die Holzbearbeitung so allgegenwärtig war, entwickelten sich schon relativ früh einfache Maschinen. Die Erzeugung von Bauholz aus dem vollen Stamm mit Handwerkzeugen war selbst nach mittelalterlichen Massstäben anspruchsvoll, mühsam und zeitaufwendig[450]. Wegen des hohen Krafteinsatzes stand bei der Suche nach Alternativen von Beginn an die Kopplung des Werkzeugs mit einer Kraftmaschine im Vordergrund. Arbeitsmaschinen im Sinne der Definition der Maschinen-Werkzeug-Technik für die Holzbearbeitung, die über Trittbrett, Kurbel, Seilzug oder Göpel mit Muskelkraft betrieben werden, bleiben allenfalls eine Randerscheinung[451]. Muskelbetriebene Geräte wie die seit dem 13. Jahrhundert zum Drechseln eingesetzte Wippendrehbank mit Fussantrieb dagegen sind wegen der freien Führung des Werkzeugs der Hand-Werkzeug-Technik zuzuordnen[452].
Die Erhöhung der zur Verfügung stehenden Energie war demnach in der Holzbearbeitung dringlicher als die Mechanisierung von Arbeitsvorgängen. Es lässt sich nicht feststellen, inwiefern die Übertragung des Stoffumsatzes vom Menschen auf eine Maschine (ohne Umsatzskalierung durch Übertragung des Energieumsatzes) die Fertigungstechnik in der Holzbearbeitung veränderte. In anderen Gewerben mit weniger Energieeinsatz wie beispielsweise der Textilverarbeitung ist es einfacher, die verschiedenen Stufen voneinander abzugrenzen, denn dort äusserte sich Maschinen-Werkzeug-Technik zuerst in mechanisierten Webstühlen mit Handantrieb[453], die Kopplung von Arbeits- und Kraftmaschine erfolgte entsprechend später.

---

449 vgl. dazu Mumford 1934. Mumford 1974 , Gimpel 1977, Paulinyi 1990, S. 310

450 Karmarsch 1875, S 646:
«Ein Mann bewaldrechtete an einem Wintertag, wenn er höchstens eine Meile zum Arbeitsort zu gehen hat, zwei Stück kleines, 1 1/2 Stück mittleres oder ein Stück starkes Bauholz.» (Unter ‹Bewaldrechten› versteht man das grobe, nicht scharfkantige Beschlagen, um den Transport vom Wald an den Ort der Weiterverarbeitung zu erleichtern.)

451 ein Beispiel einer Sägemühle für Pferdebetrieb zeigt Exner 1878, S. 529, Fig CLXXX
Finsterbusch und Thiele 1987, S. 109f belegen einige Versuche aus dem 16. Jahrhundert, Sägemechanismen mit menschlicher oder tierischer Kraft anzutreiben, u.a. aus dem ‹Theatrum Instrumentorum› (1571–72) des französischen Mathematikers Jacques Besson (1540?–1573) sowie aus den ‹Desseins artificiaux de toutes sortes des moulins› von Jacob Strada à Rossberg um 1580.

452 Paulinyi 1993, S 193

453 Paulinyi 1989, S. 39ff

4.1.1 Sägegatter I: Einführung der Maschinen-Werkzeug-Technik in der Holzbearbeitung

Als erste Arbeitsmaschinen der Holzbearbeitung, sogar werkstoffübergreifend als erste Arbeitsmaschinen der spanenden Formgebung überhaupt, gelten das Sägegatter sowie Bohrwerke zur Herstellung von Wasserleitungen aus Holzröhren[454].

Villard de Honnecourt

Ab dem 13. Jahrhundert gibt es Anzeichen für die Herstellung von Schnittholz mit maschinellen Arbeitsmitteln, die mittels einer Kraftmaschine von primären Energieträgern betrieben werden. Der älteste überlieferte Hinweis auf eine maschinelle Säge stammt um 1230 aus dem berühmten Skizzenbuch des französischen Baumeisters Villard de Honnecourt und zeigt eine – sensationelle wie fragwürdige[455] – Skizze einer wassergetriebenen Hubsäge, bei der die Bewegung des Sägeblatts mit einer Vorschubeinrichung gekoppelt ist. Wie die Mechanik der ersten Sägemühlen tatsächlich aussah, ist nicht überliefert. Ob es eine Sägemühle entsprechend dieser Skizze gegeben hat oder nicht – der Zeitpunkt stimmt überein mit dem Beginn der ‹Mühlendiversifikation›, das heisst mit Übertragung des Konzepts wassergetriebener Mühlen von der Getreidemühle auf andere Gewerke[456]. Sägemühlen ab dem 14. Jahrhundert sind urkundlich belegt[457]. Der frühe Zeitpunkt der Invention der Maschinen-Werkzeug-Technik in der Holzbearbeitung ist umso erstaunlicher, wenn wir uns bewusst machen, dass die Innovationen der Hand-Werkzeug-Technik wie der Abbundplatz und die Fachwerkkonstruktion ebenfalls erst ab dem 13. Jahrhundert nachgewiesen werden können[458].

Venezianergatter

Aus den folgenden Jahrhunderten sind wassergetriebene Sägewerke in verschiedenen Ausführungen dokumentiert, die sich durch eine Entwicklung des Transmissionsmechanismus zwischen dem Wasserrad als Kraft- und der Säge als Arbeitsmaschine unterscheiden; dies mit dem Ziel, die zur Verfügung stehende Primärenergie optimal zu nutzen.

---

454 Paulinyi 1999, S. 23:
«In der spanenenden Formgestaltung waren die ersten Arbeitsmaschinen das Sägegatter, die Bohrwerke für Holzröhren und später solche zum Aufbohren von Kanonenrohren.»
vgl. auch Paulinyi 1993, S. 193

455 Die Meinungen über diese Skizze gehen weit auseinander:
Der Historiker Lynn White bezeichnet Villard de Honnecourts ‹Sägegatter› als die «erste Industriemaschine mit zwei vollautomatischen, wechselseitig verbundenen Bewegungen» (zitiert in Finsterbusch und Thiele 1987, S. 101–102).
Gaebeler 2006, S. 166f (sich u.a. berufend auf Hahnloser 1935, S.133f) betrachtet die Skizze dagegen nur als «älteste, ebenso sensationelle wie fragwürdige Säge-Zeichnung, die jedoch ohne Objektbezug ist»

456 Gaebeler 2006 behandelt ausführlich das Auftreten der Sägemühlen im Rahmen der Mühlendiversifikation ab dem 12. Jahrhundert.

457 Beckmann 1783 zitiert u.a. den Begriff ‹Saegemueller› aus dem Bürgerbuch der Stadt Augsburg 1338.
vgl. dazu Exner 1878, S. 523f

458 zum Abbundplatz Cramer 1992, S. 28, zum Fachwerk Grossmann 2004, S. 98

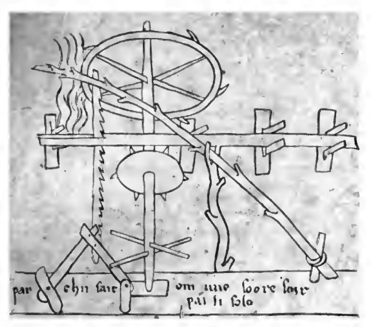


Abb. 51: Skizze einer Sägemaschine von Villard de Honnecourt, ca. 1230. Notiz: «Auf diese Art macht man eine Säge, selbsttätig zu sägen.» (Honnecourt 1230)

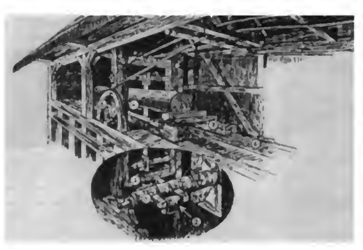


Abb. 52: Prinzip einer Klopfsäge im Schwarzwald: 1 Nockenwelle, 2 Nocken, 3 Sägerahmen, 4 Sägeblock, 5 Federbalken, 6 Fahrbahn, 7 Blockwagen, 8 Schiebezeug (Schilli 1954)



Abb. 53: Erhaltenes Venezianergatter in der Neumannmühle, Sächsische Schweiz (Finsterbusch und Thiele 1987, S. 119)

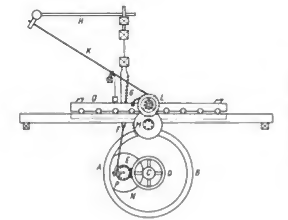


Abb. 54: Funktionsprinzip des vollentwickelten Venezianergatters. A, B Wasserrad, C Wasserradwelle, D, E, Übersetzungsgetriebe, F Pleuel, G Sägeblatt, H Wippgestänge, K Klinke, L Klinkenrad, M Vorschubgetriebe, N Schwungrad, O Blockwagen, P Kurbel (Langsdorf 1828, deutliche Parallelen zu Florin 1721)

Mitte des 15. Jahrhunderts standen in den Sägemühlen Gatter mit Nockenwelle, so wie sie auch in Hammermühlen und Walkmühlen für die Tuchproduktion zu finden waren[459]. Die direkt auf der verlängerten Mühlradwelle angebrachten Nocken hoben jede Wellenumdrehung das Sägegatter an und liessen es schwerkraftbedingt wieder fallen. Das dabei entstehende, weithin hörbare Geräusch gab dem Nockengatter den Beinamen ‹Klopfsäge›[460]. Ab dem 15. Jahrhundert gelang es mit dem Kurbeltrieb, die Rotationsbewegung des Wasserrades kraftschlüssig in die reziproke Bewegung des Sägegatters zu überführen. Mit Hilfe von Getrieben mit Drehzahlübersetzung konnte im 16. Jahrhunderts die Schnittgeschwindigkeit von der Fliessgeschwindigkeit des Wassers entkoppelt werden. Eine Integration des Blockwagens für das zu sägende Rundholz mit einem automatischen, diskontinierlichen Vorschub vervollständigte die Mechanik und vervollständigt auch Paulinyis Anspruch an die Maschinen-Werkzeug-Technik nach «Übertragung der Funktionen des Haltens und Führens sowohl des Werkstücks als auch des Werkzeugs vom Menschen auf eine technische Vorrichtung»[461] – wie er als Idee bereits in der Skizze des Villard de Honnecourt enthalten war. Sägegatter dieser Bauart sind wegen des angenommen Ursprungs in Venedig als ‹Venizianergatter› bekannt[462]. Seit Ende des 16. Jahrhunderts konnte in den Niederlanden das Einsatzgebiet der Sägemühle ausgeweitet werden, indem auch Wind als Primärenergiequelle nutzbar gemacht wurde[463]. Die Schnittleistung einer Sägemühle des 16. und 17. Jahrhundert lag maximal bei etwa 7 m^2/h. Das entspricht einer Vorschubgeschwindigkeit des Blockwagens von 0,5 m/min bei einer durchschnittlichen Brettbreite von 25 cm. Die Leistung eines Venezianergatters mag bei 4 PS gelegen haben. Als Jahresproduktion sind etwa 900 m^3 Schnittholz anzunehmen. Das entspricht etwa der fünffachen Leistung und der zehnfachen Arbeitsproduktivität einer Zweimann-Handsäge[464], so dass wir gemäss unserem Schema durchaus von einer Umsatzskalierung sprechen dürfen, die sich allerdings im Vergleich zur heutigen Leistung noch recht bescheiden ausnimmt: Heutige Vollgatter haben eine über 30fache Schnittleistung eines Venezianergatters, Profilspanerlinien sogar eine 700fache Leistung[465].
Neben der erhöhten Leistung geschah aber noch etwas anderes für meine Überlegungen Bedeutsames: Die Profile der Bauhölzer waren mit wesentlich höherer Präzision als manuell behauene Hölzer gefertigt, hatten ebene Aussenflächen und konstante Profil-Abmessungen.

459 vgl. Ludwig 1994

460 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 110ff

461 Paulinyi 1989, S. 22

462 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 115ff

463 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 148ff

464 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 147f

465 Einzelne Vollgatter in heutigen Sägewerken erreichen bis zu 30.000 m^3 Schnittholz/Jahr (Lohmann 2003 Bd. 1, S. 299); Profilspanerlinien bis zu 600.000 m^2 Schnittholz/Jahr; entsprechend 800.000 fm Rundholz/Jahr (Lohmann 2003 Bd.2, S. 218). (Eine Profilspanerlinie ist nach Lohmann 2003 Bd 2, S. 216 eine automatisierte Grossanlage zum Einschneiden von Rundholz. Namensgeber ist die Profilspanertechnik, nämlich das direkte Zerlegen der Schwarten, ggf. auch Säumlinge am Block in Hackschnitzel mittels spezieller Werkzeuge.)

Allerdings konnten die Sägegatter nicht mehr auf Eigenheiten des gewachsenen Holzes eingehen, wie dies in der Hand-Werkzeug-Technik der Fall war. Hermann Phleps bezweifelt denn auch, ob die maschinelle Holzbearbeitung noch zu «lebendigen, holzgemässen Formen» führe: «Am stärksten entfernt sich unser Einleben in das Wesen des Holzes, wenn die vom Auge überwachte Handsäge durch eine selbsttätige Sägemaschine ersetzt wird.»[466]

Bundgatter

Ab dem im 18. Jahrhundert erlaubten Fortschritte in der Stahlerzeugung[467] das Zusammenfassen von bis zu sechs parallelen Sägeblättern in einem Rahmen, der als ‹Bundgatter› bezeichnet wird[468]. So konnten in einem Maschinendurchlauf mehrere Sägeschnitte im Rundholz ausgeführt werden. Die Leistung verdoppelte sich gegenüber dem Venezianergatter[469]. Der höhere Umsatz des Bundgatter bedingte bereits eine fabrikmässige Unternehmensstruktur, die von den Handsägern so sehr als Bedrohung empfunden wurde, dass es vereinzelt sogar zur mutwilligen Zerstörung von Sägemühlen kam[470]. Konstruiert wurde nach wie vor auf Grundlage empirisch ermittelter Erkenntnisse[471]. Innerhalb eines Rahmens war der Abstand der Sägeblätter mit Distanzbeilagen aus Eichenholz und metallenen Keilen fixiert[472]. Bis zu drei oder vier solcher Bundgatter waren parallel mit einer Mühlradwelle verbunden. So konnten

466 Phleps 1942, S. 43, und weiter:
«So sieht heute die gestaltende Phantasie das zu verarbeitende Holz in der Gestalt, wie die Schnittware geliefert wird, als vierkantige Balken oder dünnwandige Bohlen und Bretter, und nur, wenn sie aus romantischen Neigungen die Natur- und Erdverbundenheit zum Ausdruck bringen will, in der Form des natürlichen Stammes, als Rundholz. [...] Schon beim Fällen und Spalten erfühlt man den eigenartigen Aufbau desselben Man lernt erfahrungsgemäss die verschiedenen Widerstände erkennen, die in der Laufrichtung der Fasern völlig andersgeartet sind als senkrecht zu ihnen. Je mehr man aber dem Werkzeug an selbstständiger Leistung aufbürdet und anvertraut, um so loser werden die Bindungen zwischen dem Handwerker und dem Werkstoff.»

467 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 149:
Das Bundgatter wurde seit dem 16. Jahrhundert eingesetzt, konnte sich aber erst durchsetzen, als die Erfindung legierten Stahls hochwertige, dünne Sägeblätter ermöglichte.

468 Karmarsch 1875, S. 655, Exner 1878, S. 152:
«Sind mehr als zwei Sageblätter in einem Rahmen eingespannt und besitzt er die hierfür nöthigen Einrichtungen, so nennt man das Gatter Voll- oder Bundgatter.»

469 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 165:
Durch das Bundgatter konnte die Produktion der Sägemühlen auf bis zu 17 m²/h gesteigert werden

470 Powis Bale 1880 S. 5:
«The first saw mill in England of which we have any record was erected by a Dutchman near London about the year 1663, but was the occasion of so much riot that it had to be abandoned This was also the case with a mill erected by one James Stansfield in 1768, as it was torn to pieces by the mob.»
Busch 1822, Handbuch der Erfindungen:
«Windsagemühle. Ist eine Sagemühle, die vom Winde getrieben wird. Eine solche wurde bey London i.J. 1633 erbaut, aber sie ging wieder eine: auch 1767 oder 1768 wurde eine solche bey Limhouse, in der Nahe von London, durch James Stansfield erbaut, aber sie wurde vom Pöbel niedergerissen Jedoch kurz darauf wieder erbaut.»

471 Karmarsch 1872 S. 13 über das Wasserrad:
«Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts war die Konstruktion der Wasserräder ein rein empirisches Geschäft, denn die allerdings einzeln vorhandenen theoretischen Untersuchungen hatten den Gegenstand von praktisch unfruchtbaren Gesichtspunkten aufgefasst, führten teilweise zu thatsächlich unrichten Ergebnissen und konnten hiernach nicht zu Begründung einer rationellen Praxis beitragen.»

472 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 161

verschiedene Brettstärken vorbestimmt werden. Da die Maschine selbsttätig Material, aber keine Informationen über Abmessungen des Schnittholzes verarbeitete, dürfte das Verstellen der Abstände mit einem Produktionsunterbruch und einigem manuellem Aufwand verbunden gewesen sein. Einen Hinweis, dass diese Abstände nicht beliebig festgelegt werden durften, sondern – unabhängig von der Mechanik des Sägegatters – «herrschaftlichem Zoll und Modell» zu folgen hatten, gibt der Verleger Johann Heinrich Zedler in einer umfassenden Enzyklopädie von 1733[473]. Wir haben also sowohl einen mechanischen als auch einen gesetzlichen Grund, Anzeichen einer Standardisierung in Form einer Vereinheitlichung von absoluten Abmessungen zu erkennen.

Grenzen des Wachstums

Die Trennung von Informations- und Stoffumsatz ist ein Prinzip der Standardisierung. Die Kopplung von Stoff- und Energieumsatz (Arbeits- und Kraftmaschine) zu einer Einheit ist das Prinzip der Umsatzskalierung (Massenproduktion). Obwohl sich zwei Prinzipien der Maschinen-Werkzeug-Technik bereits abzeichnen, reichen Produktionsgeschwindigkeit und Stückzahlen noch nicht aus, um den Wandel zur Industriegesellschaft zu vollziehen. Die Antriebskraft des Wassers und die Festigkeit des Werkstoffs Holz, aus dem mit Ausnahme der Sägeblätter die gesamte Mechanik der Anlagen inklusive der Getriebe bestand, setzten für die Leistung der Sägegatter wie auch für alle anderen Maschinen klare Grenzen, an denen vorerst nicht zu rütteln war[474]. Zudem fehlte es an einer durchgängig mechanisierten Prozesskette: Mit der Mechanisierung der Schnittholzerzeugung grenzte sich die erste Produktionsstufe deutlich von den weiteren Schritten ab, die unverändert manuell von Zimmermännern und Schreinern mit Beil und Säge ausgeführt wurden. Die Maschinen-Werkzeug-Technik wurde in der Holzbearbeitung jahrhundertelang punktuell neben der Hand-Werkzeug-Technik ein-

473 Zedler 1733:
«Die Muller durften die Breter nicht nach eigenem gefallen so lang und breit machen, wie sie wollen sondern es müssen die Dielen nach Herrschaftlichen Zoll und Modell geschnitten werden. Es gibt derer Breter viererley, als erstlich die Schwarte, darnach das Schwarten=Bret, welche beyde kein vorgeschriebenes Modell haben, ferner das Schmahl=B., so 12 Zoll in die Breite, und in die Dicke einen Zoll haben muß, und endlich das Dreyviertheil=Bret, welches in die Breite 16. Zoll, und in die Dicke 1 1/2 Zoll hat. Alle müssen in die Länge 14 Schuh haben. Nachdem die Breter bestelet werden, nachdem machen sie solche 16. 17. 18. bis 20 Schuhe lang, jedoch auch nicht länger, weil der Wagen auf der Schneide=Mühle nicht länger ist.»

474 Ein interessantes Beispiel beschreibt Matschoss 1901, S. 9f.:
«Der Maschinenbau war noch zu unterentwickelt, das Material, das ihm damals für derartige grössere Maschinen fast allein zu Gebote stand, das Holz, war zu wenig widerstandsfähig, um grössere Kräfte in der geeigneten Weise aufzunehmen und übertragen zu können. Wollte man grössere Arbeitsleistungen an einem Ort erzielen, so half man sich wie bei der physischen Kraft, man vergrösserte die Zahl der Kraftquellen. Je grössere Leistungen man so auf einen Ort zu koncentrieren suchte, um so schwerfälliger und ungeheuerlicher wurden die Maschinenanlagen. Schnell wurde die Grenze erreicht, wo der wirthschaftliche Nutzen aufhörte und das technische Kunststück begann. Derartige grosse Kraftcentralen waren ein Luxus, den sich nur Fürstenlaunen gestatten konnten. Nur etwa ein Ludwig XIV. der Sonnenkönig des reichen Frankreichs, hat den Ehrgeiz, die mächtigste Kraftmaschine der Zeit sein eigen zu nennen, befriedigen können. Aber in welchem Verhältnis standen Umfang und Kosten der Anlage zu ihrer Leistung? Aus nicht weniger als 14 Wasserrädern und 235 Saug- und Druckpumpen bestand das 1682 von einem Lütticher Zimmermann ausgeführte Pumpwerk zu Marly, das etwa 5000 Kubikmeter Wasser in 24 Stunden in einen 160m höher gelegenen Behälter zu heben hatte, von dem aus die Versailler Wasserkünste gespeist wurden.»
vgl. auch Lilley 1966, S. 142

gesetzt, ohne dieser ihre vorherrschende Position in der Formveränderung streitig machen zu können.

4.1.2 Exkurs: Industrielle Revolution

In den Jahren 1750/60 bis 1840/50 fand in Grossbritannien etwas statt, was die Maschinen-Werkzeug-Technik so plötzlich in die führende Rolle der Fertigungstechnik hob, dass man bald von einer ‹industriellen Produktion› und wegen der Umgestaltung der Gesellschaft sogar von einer ‹Industriellen Revolution›[475] sprach. Diese Veränderung erfasste die Holzbearbeitung in vollem Umfang, so dass wir uns deren Auslöser daher in einem kurzen Exkurs ansehen wollen.

Vier zentrale Faktoren sind es, die durch ihre wechselseitige Stimulation schnelle und unwiderrufliche Umwälzungen in Technik und Wirtschaft, aber auch den sozialen Verhältnissen verursachten: der fossile Energieträger Kohle, die Dampfmaschine als Energiewandler, Stoffumwandlung von Eisenerz zu Stahl und die Arbeitsmaschine mit Maschinen-Werkzeug-Technik. Die Kohle stellte die Energie, die Dampfmaschine – zunächst zur Entwässerung der Kohlegruben entwickelt – verwandelte die fossile Energie in Bewegung für die Produktions- und Transporttechnik, ohne Stahl hätte man keinen geeigneten Werkstoff für die dazu notwendigen Anlagen bzw. Fahrzeuge und ohne die Werkzeugmaschinen hätte man diese nicht fertigen können. Es ist immer wieder versucht worden, eine Hierarchie dieser Faktoren herzustellen. Im 19. und 20. Jahrhundert heroisierte man die Dampfmaschine und vor allem den Anteil James Watts an deren Entwicklung[476]. Akos Paulinyi hat in allen seinen Veröffentlichung stets die Bedeutung der Werkzeugmaschine betont, weil die Maschinen-Werkzeug-Technik sich bereits vor Erfindung der Dampfmaschine um 1740 in der britischen Textilindustrie durchzusetzen begann[477].

475 Der Begriff «Industrielle Revolution» wurde durch die Vorlesungen des britischen Wirtschaftshistorikers Arnold Toynbee (1852-1882) geprägt, vgl. Toynbee 1884
Nach Auffassung von Paulinyi 1991 (II), S. 271 «steht der Begriff ‹Industrielle Revolution› für die Epoche der Entstehung des industriekapitalistischen Systems in Grossbritannien zwischen 1750/60 und 1840/50 sowie für alle damit verbundenen Veränderungen nicht nur in der Wirtschaft und Technik, sondern auch in der Struktur der Gesellschaft, in den sozialen Beziehungen, im Lebensstil, im politischen System, in den Siedlungsformen bis hin zum Landschaftsbild. Die Industrielle Revolution war ein komplexer, technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Umwälzungsprozess, mit dem die durch ein beschleunigtes ökonomisches Wachstum gekennzeichnete Industrialisierung begann, aber nicht vollendet wurde.»
Der Begriff der ‹Industriellen Revolution› wird abweichend davon auch auf frühere oder spätere schubartige Veränderungen angewendet, so beispielsweise bei Gimpel 1977 als «Industrielle Revolution des Mittelalters», bei Stefan 1960 als «Zweite industrielle Revolution» für die Technik der Automation oder bei Balkhausen 1978 als «Dritte industrielle Revolution» für die massenhafte elektronische Datenverarbeitung.

476 Roll 1930, Matschoss 1901, S. 254
«Alle Arbeitsmaschinen sind ohne Kraftmaschine leblose Mechanismen, erst die Dampfmaschine, als ihre Betriebsmaschine, gibt ihnen Leben und Bewegung und befähigt sie, ihre bewundernswerte Tätigkeit auszuüben.»

477 z.B. Paulinyi 1978, Paulinyi 1982, Paulinyi 1989, Paulinyi 1991 (II).
Den Zusammenhang zu den anderen Faktoren betont er in Paulinyi 1999, S. 32f.
«Der Einsatz von Arbeitsmaschinen in der Baumwollverarbeitung konnte zum Beginn eines irreversiblen Strukturverände-

Aus heutiger Sicht spielte vor allem der Wechsel vom solaren zum fossilen Energiesystem eine Rolle[478]. Anstatt einen einzigen technischen Faktor zum Schlüssel der Industriellen Revolution zu machen, betont der Soziologe Gerhard Lenski «the gradual accumulation of technological information throughout the agrarian era»[479], die erst im Zusammenwirken verschiedener Techniken den Wandel hervorrufen konnte. Georg Oesterdieckhoff, der ebenso die Soziologie vertritt, betrachtet diesen Informationszuwachs widerum im Zusammenhang mit der welthistorisch erstmaligen Überwindung eines animistisch-artifizialistischen Denkens durch eine mechanistische Philosophie[480], wie ich sie in Abschnitt 2.2.1 kurz angesprochen habe. Oesterdieckhoff betrachtet es jedoch als wahrscheinlich, dass das geistige Wachstum seinerseits von ‹materiellen Anreizbedingungen› ausgelöst wurde[481]. Damit schliesst sich der Kreis der Argumentation und es erscheint in Anbetracht der verschiedenen Standpunkte unangemessen, eine Hierarchisierung der Faktoren weiter zu verfolgen.
Ganz kurz möchte ich drei Gruppen von Innovationen in Erinnerung rufen, die sich konkret auf die weitere Entwicklung der Holzbearbeitungsmaschinen auswirken.

Stoffumwandlung: Stahlerzeugung
Die erste Gruppe ist die der Erzeugung von Schmiedeeisen und Schmiedestahl. Eisenerze als deren Grundlage sind beinahe in allen Teilen der Welt in ausreichenden Mengen vorhanden. Ihre Verarbeitung mit Temperaturen unter dem Schmelzpunkt war jedoch bis zum 18. Jahrhundert so aufwändig, dass Stahl beinahe als Edelmetall galt[482]. In Werkzeugen und Maschinen wurde der Einsatz von Eisen daher auf Lager, Schneiden und andere Bauteile beschränkt, wo seine Werkstoffeigenschaften unverzichtbar waren[483].
Zwei Stoffumwandlungsprozesse sind notwendig, um in grösserem Umfang aus Eisenerzen schmiedbares Eisen zu machen: Der erste ist das Schmelzen von Eisen, das wegen des hohen Schmelzpunkts von 1536 °C jahrtausendelang ein Hindernis darstellte. Das Roheisen, End-

rungsprozesses der Technik nur deshalb werden, weil andere Subsysteme der Technik von diesem Prozess erfasst und die Träger der neuen Technik, die Arbeits- und Kraftmaschinen selbst, zum Produkt der Maschinen-Werkzeug-Technik wurden. Wenn dies binnen etwa 70 Jahren nach Gründung der ersten cotton mills erreicht worden ist, dann deshalb, weil gleichzeitig bzw. mit kleiner Verzögerung mehrere zentrale, eng miteinander verbundene technische Problem gelöst worden sind.»

478 alle Autoren im Abschnitt 2.3.2.3, am aktuellsten Sieferle 2006

479 Lenski 1991, S. 217ff.
«Probably the least heralded of the major causes of the Industrial Revolution was the gradual accumulation of technological information thoughout the agrarian era. For despite the slowdown in the rate of innovation, discoveries and inventions did not cease. Evidence of significant advances can be found in agriculture, mining, metallurgy, transportation, construction, and various other fields. Advances in construction and engineering can still be traced if one compares the churches and cathedrals built in western Europe in successive centuries. As a result of many such advances, the store of technological information available in the eighteenth century was far greater than in the thirteenth, just as it had been far greater in the thirteenth than in the eigth. This enormous store of information held obvious potential for an increase in the rate of technological innovation when other conditions within societies became favorable.»

480 Oesterdieckhoff 2001, S. 85

481 Oesterdieckhoff 2001, S. 127

482 Lilley 1966, S. 145

483 Lilley 1966, S. 142

produkt des Schmelzprozesses, lässt sich zwar giessen (Gusseisen), ist wegen seines hohen Kohlenstoffgehalts aber nicht schmiedbar. Das schmiedbare Eisen und der härtbare Schmiedestahl entstehen erst durch ein zweites Stoffumwandlungsverfahren, bei dem durch Einbringen von Sauerstoff der Kohlenstoffgehalt reduziert wird (‹Frischen›).
Die erste Hürde, das Schmelzen, konnte überwunden werden, als es dem Eisenfabrikanten Abraham Darby I (1667–1717) gelang, durch Pyrolyse den Brennstoff Steinkohle in Koks umzuwandeln. Die Verbrennung von Koks erleichterte einerseits das Schmelzen, andererseits war Steinkohle im 18. Jahrhundert in beliebigen Mengen verfügbar und konnte den (durch den Holzverbrauch im Schiffbau) rar gewordenen Energieträger Holzkohle ersetzen. Die zweite Hürde, das Frischen, wurde ab 1784 bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts mit dem ‹Puddelverfahren› genommen; einem anspruchsvollen, manuellen Rühren des Roheisens in einem ‹Puddelofen›[484]. An die beiden Stoffumwandlungsprozesse schlossen schrittweise verschiedene Prozesse der Stoffformung wie Walzen, Schmieden oder Pressen an, die die Eisenklumpen aus dem Puddelverfahren (‹Luppen›) in Halbzeuge wie Bleche oder Profile umformten. Einen breit verfügbaren Werkstoff mit vergleichbaren Eigenschaften in Formbarkeit, Präzision, Belastung, Abriebfestigkeit und Elastizität hatte es zuvor nicht gegeben.

Energieumwandlung: Dampfmaschine
Die zweite Gruppe von Erfindungen sind Anwendungen der ersten, da sie bereits die Möglichkeiten des neuen Werkstoffs umsetzen. Die Dampfmaschine ist der erste standortunabhängige, universelle Motor, der nicht mehr wie Wasser und Windkraft von Jahreszeiten und Wetter beeinflusst wurde. 1712 gelang es dem Eisenwarenhändler Thomas Newcomen (1663–1729) mit der ‹atmosphärischen Dampfmaschine›, gedacht zum Abpumpen von Wasser aus Bergwerken, eine wirtschaftliche Umwandlung von Wärmeenergie in Arbeit. Der Erfinder James Watt (1736–1816) konnte den Wirkungsgrad der Dampfmaschine in mehreren Schritten entscheidend verbessern: Niederdruckdampfmaschine 1769, doppelt wirkende Dampfmaschine 1782, watt'sches Parallelogramm 1784 und Fliehkraftregler 1788.
Die weiterentwickelte watt'sche Dampfmaschine als Energiewandler beruht vollständig auf den drei anderen Faktoren der Industriellen Revolution: Sie gewinnt ihre thermische Energie aus Kohle, besteht vollständig aus Metallen[485] und zuletzt stellt ihre anspruchsvolle Mechanik Anforderungen an die Fertigungspräzision, die den Hersteller von Newcomen-Maschinen John Smeaton zu der Bemerkung verleiteten, dass «neither the tools nor the workmen existed that could manufacture so complex a machine with sufficient precision»[486].

---

484 Industrielle, auf die Massenproduktion ausgerichtete Verfahren des Frischens mit der Bessemerbirne um 1855 und der Thomasbirne 1878 kamen erst fast siebzig Jahre später auf; zum Puddelverfahren vgl. Paulinyi 1987b

485 Paulinyi 1991 (II), S. 365 und Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 206 geben 70 % Gusseisen, 25 % Schmiedeeisen 25 % und 5 % Buntmetall an.

486 Lilley 1966, S. 146
Eine detaillierte Darstellung der Dampfmaschinenfertigung in den Werken von Boulton & Watt gibt Roll 1930, S. 166–236

Fertigungstechnik: Werkzeugmaschine
Damit wären wir bei der dritten Gruppe von Innovationen, den Werkzeugmaschinen. Der vorindustrielle, auf Handarbeit gestützte Bau von Maschinen verwendete überwiegend Holz als Werkstoff und nur in geringen Mengen Metall. Mit der Entdeckung einer wirtschaftlichen Eisenproduktion waren bislang undenkbare Konstruktionen möglich. Der neue Werkstoff war Grundlage für die Entwicklung von Werkzeugmaschinen, die wiederum ermöglichten, die massenhaft benötigten Maschinenteile für Arbeits- und Kraftmaschinen schneller, präziser und kostengünstiger herzustellen[487]. Karl Marx schreibt dazu: «Die grosse Industrie musste sich also ihres charakteristischen Produktionsmittels, der Maschine selbst, bemächtigen und Maschinen durch Maschinen produzieren. So erst schuf sie ihre adäquate technische Unterlage und stellte sich auf ihre eigenen Füsse.»[488]
Aus den neuen Möglichkeiten der Metallverarbeitung formierte sich die Disziplin Maschinenbau, die noch in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts nur von wenigen hartnäckigen britischen Pionieren vorangetrieben wurde. Besonders hervorgehoben wird in der Literatur die Drehbank, da viele Neuerungen des 19. Jahrhunderts eng mit Entwicklung der Handdrehbank zu einer robusten Hochpräzisionsmaschine verknüpft sind[489]. Die drei ausschlaggebenden Merkmale dieser von Henry Maudslay (1771–1831) im Jahr 1800 gebauten ‹srew-cutting-lathe› sind der steife Gusseisenrahmen an Stelle eines Holzrahmens, die Herstellung präziser, ebener Flächen für die Werkzeugführung sowie die Technik, präzise Führungsschrauben ausreichender Länge für grosse Werkstücke zu fertigen[490].
Dabei muss berücksichtigt werden, das Hand- und Maschinenarbeit sich im Fertigungsprozess ergänzten. Beide waren unverzichtbar: in der Rohteilefertigung wurden kaum Maschinen benutzt, sie spielten ihre wesentliche Rolle bei der spanenden Vorbearbeitung. Dort ersetzten sie das Abspanen grosser Materialmengen, die von Hand nicht hätte bewältigt werden können. Die Endbearbeitung der Werkstücke blieb dagegen bis zum Ende des 19. Jahrhundets Handarbeit des Maschinenschlossers[491].

4.1.3 Sägegatter II: Umsatzskalierung durch neue Energieträger und verbesserte Produktionsmittel

Durch die Industrielle Revolution hatte im gesamten System der Fertigungstechnik ein Führungswechsel von der Hand-Werkzeug-Technik zur Maschinen-Werkzeug-Technik stattgefun-

487 Paulinyi 1989, S. 239, Lilley 1966, S. 146; Usher 1954, S. 373f
488 Marx 1890, S. 405
489 Lilley 1966, S. 147, Ruby 1995
490 Lilley 1966, S. 149; Usher 1954, S. 368
491 Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 214

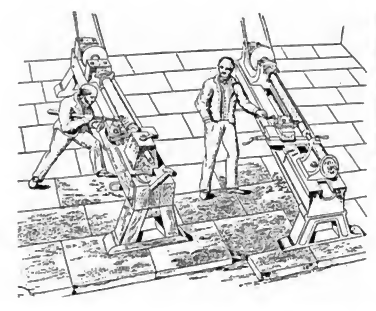


Abb. 55: Zeichnung von James Nasmyth 1841, die den Unterschied zwischen ‹Hand-Werkzeug-Technik› und ‹Maschinen-Werkzeug-Technik› illustriert. An der linken (aus Holz gebauten) Drehbank bearbeitet der Dreher das Werkstück mit einem aufgelagerten Handdrehmeissel. An der rechten Drehbank mit gusseisernem Rahmen erzeug der Dreher nur die Vorschubbewegung mit einer Handkurbel. (Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 194)

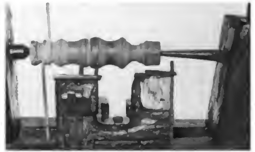


Abb. 56: Hand-Werkzeug-Technik: Wippendrehbank vor 1800, über eine Schnur mit Fusspedal angetrieben (Benad-Wagenhoff et. al. 1993, S. 190)

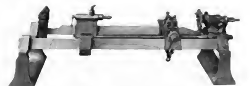


Abb. 57: Maschinen-Werkzeug-Technik: Henry Maudslays srew-cutting lathe, 1797 (Lilley 1966, Tafel XIX)

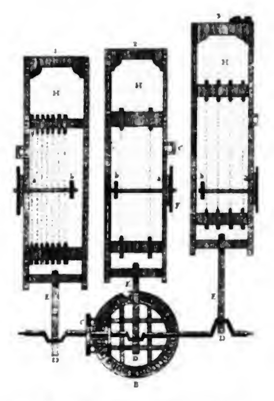


Abb. 58: Dreirahmen-Sägegatter für unterschiedliche Brettstärken, Stansfieldmühle 1770 (Finsterbusch und Thiele 1987, S. 164)

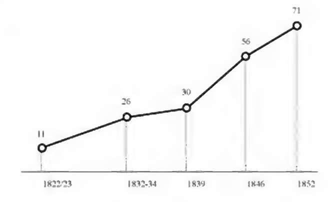


Abb. 59: Anzahl Sägemühlen in London (Angaben nach Louw 1992, S. 24)

den, der sich allein aus dem Verhältnis der Kategorien Stoff, Energie und Information unseres Schemas nicht erklären lässt: Sowohl das Prinzip der ‹Übertragung von Halten/Führen von Werkstück und Werkzeug vom Menschen auf eine technische Vorrichtung› (Übertragung des Stoffumsatzes) als auch die Umsatzskalierung (Übertragung des Energieumsatzes) war in der Holzbearbeitung spätestens im Venezianergatter des 16. Jahrhunderts realisiert. Etwas, was wir als ‹Revolution› bezeichnen könnten, hatte aber zu diesem Zeitpunkt nicht stattgefunden. Was letztendlich zu einer massiven Umsatzskalierung führte, war nicht eine Änderung der Relationen des Systems, sondern eine Änderung der Eingangsgrössen.

Dampfsägewerke

Da waren zum einen als wichtigster Primärenergieträger vor der Industriellen Revolution die Wasserkraft und das Wasserrad als Kraftmaschine. Problematisch war am Wasserrad weniger seine Leistung als vielmehr seine Standortgebundenheit[492]. Dies zeigt sich daran, dass die Wasserkraft dort, wo sie vorhanden war, bis zum Ende des 19. Jahrhunderts die wirtschaftlichste Energiequelle bleibt[493] und darüber hinaus je nach Wassermenge die Möglichkeit günstigen Holztransports bieten kann[494]. Die Kombination Wind und Windmühle dagegen wurde nach der Industriellen Revolution in der Holzbearbeitung nicht weiter verfolgt.
Bei Dampfsägewerken beschränkte sich die Standortwahl auf logistische Faktoren wie Verkehrsadern und Häfen sowie die Nähe zu grossen Waldvorkommen[495], so dass nun Regionen für die Maschinen-Werkzeug-Technik erschliessbar wurden, in denen zuvor nur mit Axt und Säge gearbeitet werden konnte. Es war sogar möglich, Dampfmaschinen transportabel zu konstruieren, so dass ihr Standort nicht festgelegt war. Dennoch wurde die Produktion von Schnittholz nicht so unmittelbar von der Industriellen Revolution erfasst, wie dies mit der britischen Textilindustrie der Fall war. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Anfänge der Mechanisierung in der Holzbearbeitung einige Jahrhunderte weiter zurückliegen und man sich Mitte des 18. Jahrhunderts durch das vergleichsweise hohe technische Niveau der Bundgatter

492 Paulinyi 1982, S. 255
«Wichtigster Energieträger der vorindustriellen Zeit war das Wasser; als Energieumwandler fungierte das Wasserrad. Die Nachteile dieser meistverbreiteten Kraftmaschine lagen nicht so sehr in ihrem Wirkungsgrad bzw. ihrer Leistung, sondern darin, dass als Grundvoraussetzung ein fliessendes Gewässer in entsprechender Menge vorhanden sein musste. Der Einsatz des Wasserrades war also standortgebunden und von geographischen sowie klimatisch-meterologischen Gegebenheiten abhängig. Es vermochte freilich die steigenden Anforderungen einer antriebsbedürftigen, konzentrationsträchtigen Technik nicht zu erfüllen: Je nach Bauweise reichte der Wirkungsgrad (Nutzungsgrad der im Wasserstrom vorhandenen Energie) von etwa einem Drittel bei unterschlächtigen bis zu zwei Dritteln bei oberschlächtigen Wasserrädern, die im 18. Jahrhundert eine Leistung von etwa 10 PS (7.35 kW) erbringen konnten.»

493 Powis Bale 1880, S. 256:
«The earliest motive power used for driving wood-working machinery was that produced by the water-wheel and wind-mill. The latter has entirely fallen into disuse; but a great number of water-wheels are still in operation, and, where sufficient water can be obtained, it is undoubtedly the most economical power available.»

494 Gerner im Vorwort zu Schadwinkel 1986, S. 23

495 vgl. Gottl-Ottlilienfeld 1914, S. 351

auf einem Vorsprung ausruhte[496].
Dieser Vorsprung war im Übergang zum 19. Jahrhundert aufgebraucht. Die Kopplung einer Dampfmaschine mit einer Holzbearbeitungsmaschine erfolgte fast gleichzeitig 1802 in Grossbritannien mit einer Hobelmaschine des Ingenieurs Joseph Bramah (1748–1814) und in den USA mit der Verbindung einer Dampfmaschine mit einem bestehenden wassergetriebenen Sägegatter durch den Konstrukteur Oliver Evans (1755–1819)[497]. Damit treten die USA erstmals in führender Rolle auf die Weltbühne der Holzbearbeitung. Als Meilenstein gelten die 1814 im britischen Chatham fertiggestellten Dampfsägewerke, einem Gemeinschaftsprojekt der Maschinenbauer Samuel Bentham (1757–1831), Marc Isambard Brunel (1769–1849) und Henry Maudslay (1771–1831). Da in der Geschichte der Holzbearbeitungsmaschinen die Fäden oftmals bei diesen drei Männern zusammenlaufen, ist es an dieser Stelle schwierig, trotz einführender Beteuerungen nicht auf eine ‹Heroentheorie› zu verfallen[498]. Maudslay kennen wir bereits als Konstrukteur der ‹srew-cutting lathe›. Brunel begegnet uns immer wieder als Ideengeber. Bentham wrude gar mit dem Titel «Vater der Holzbearbeitungsmaschinen» bedacht[499]. Die Chathamer Dampfsägewerke blieben lange Zeit Vorbild und Muster für die maschinelle Schnittholzproduktion. Acht Sägegatter in Ganzmetallkonstruktion mit je 20–24 Sägeblättern pro Rahmen bildeten zusammen mit dampfgetriebenen Winden und Kränen für den Transport des Holzes das Herzstück dieser Schnittholzfabrik[500].
Ab 1850 setzen sich Dampfsägewerke auch in den anderen europäischen Ländern durch und beschleunigten die Holzverarbeitung enorm. Die Steigerung des Holzverbrauchs in den USA liest sich eindrücklich: 100% Steigerung von 1830–40, 350% von 1840–50, dann jeweils ca. 50% in den Folgejahrzehnten[501].

496 Exner 1878, S. 532:
«Essentielle Veranderungen in der Construcktion der Sägemaschine mit alternativer Bewegung wurden erst im Beginne unseres Jahrhunderts in England vorgenommen.»

497 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 182
Auf Evans geht auch die Idee der ununterbrochenen Fertigungsstrasse zurück, die er erstmals 1783 anhand einer Getreidemühle vorstellte. vgl. Giedion 1948, S. 79ff

498 Exner 1878, S. 531:
«Man kann in der Geschichte der Holzbearbeitungsmaschinen, einschliesslich der Sägen, sowie in vielen anderen Zweigen des Constructionswesens einen bestimmten Zeitpunkt herausfinden, in welchem durch die andauernden Anstrengungen einer einzigen, durch ihre Denkkraft hervorragenden Persönlichkeit trotz der Zweifelsucht ihrer Zeitgenossen, ja vielleicht trotz Spott und Sticheleien ihrer Mitmenschen eine totale Umwälzung der zur Zeit herrschenden Praxis herbeigeführt wurde.»

499 Exner 1878, S. 534, James Smith zitierend:
«Sir Samuel Bentham war der erste, welcher Sägemühlen in unseren nationalen Kriegswerkstätten einführte, der erste, welcher die richtigen Principien aller Arten von Maschinensägen, die damals gebaut wurden, erkannte, Principien, die heute noch aufrecht stehen. Die Specification seines Patents vom Jahre 1793 ist eine vorzügliche Abhandlung über diesen Gegenstand, die einzig werthvolle, die bis zu dieser Zeit geschrieben wurde.»

500 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 185

501 Pfamatter 2005, S. 208

Eiserne Vollgatter

Das Ersetzen des Holzes durch Eisen als Werkstoff für die Sägemaschinen bedeutete nicht nur einen Werkstoffwechsel. Der neue Werkstoff erlaubte es, den «nach dem Massstab der neueren Mechanik» ‹unvollkommenen Zustand› des Sägegatters zu verfeinern[502]. So konnte nun die Kraft an Stelle des hölzernen Zahnradantriebs mit verlustarmen Riemen übertragen werden. Die Hubbewegung des Sägerahmens musste nicht mehr geradlinig verlaufen, sondern beschrieb wie bei heutigen Schwingrahmengattern einen leichten Bogen, so dass sich die Sägezähne am Ende eines Schnitts vom Holz lösen konnten. Das grösste Verbesserungspotential bot die Vorschubmechanik: Da durch die Dampfmaschine mehr Energie zur Verfügung stand, konnte der Vorschub nun während des Sägeschnitts erfolgen[503]. Der Blockwagen wurde durch horizontal gelagerten Vorschubwalze ersetzt[504], so dass es keine durch das Zurückfahren des Blockwagens bedingte Sägepause mehr gab und die gesamte Maschinenlaufzeit für das Sägen genutzt werden konnte. Bereits die Leistung der ersten Dampfsägewerke mit eiserner Mechanik war mit etwa 6.500 m^3 Schnittholz jährlich etwa doppelt so hoch wie kaum 15 Jahre vorher die Höchstleistung einer Wassersägemühle[505].

4.1.4 Werkzeugmaschinen zur Holzbearbeitung 1: Maschinen-Werkzeug-Technik

Fanden ausserhalb der Sägewerkstechnik bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts kaum Innovationen statt[506], so begann nun eine sprunghafte Entwicklung der weiterverarbeitenden Holzbearbeitungsmaschinen. Innerhalb weniger Jahrzehnte wurden auf der technischen Grundlage von Maudslays Drehbank die wesentlichen spanenden Holzbearbeitungs-Maschinen der Industrialisierung entwickelt[507]. Stafford Ransome fasst 1902 das Ziel der gesamten Holzverarbeitungskette zusammen: «The aim of woodworking machinery is to accomplish by mechanical means everything that can be done by the artisan in the conversion of timber, from the felling

---

502 Karmarsch 1872. S 549

503 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 195 schreiben die Idee Marc Isambard Brunel 1814 zu.
Aus Karmarsch 1872. S. 550:
«In Frankreich beabsichtigte Dubourg (1832), dem Sägegatter durch Mechanismus eine ähnliche oszillierende Bewegung zu ertheilen, wie sie eine von zwei Arbeitern gezogene Handsäge annimmt, wodurch das Ausfallen der Sägespäne erleichert würde; und Prudhomme zu Havre gab (1853) dem Gatter eine Bewegung, vermöge derer es sich beim Aufsteigen ein wenig vom Holze zurückzieht um den alsdann unthätigen Sägen einen leichtern Gang in der Schnittfurche zu verschaffen.»

504 Karmarsch 1872. S 550:
«Die Vorschiebung des Holzes mittelst Walzen scheint in Engladn Hamond (1811), in Frankreich Sautreuil (1830) zuerst angewendet zu haben.»

505 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 191

506 Ettelt und Gittel 2004, S. 6. Gerner im Vorwort zu Schadwinkel 1986 S. 33

507 Exner 1878. S. 532:
«Die bereits damals ziemlich entwickellen Maschinen für die Metallbearbeitung, die durch die ausgebildete englisehe Eisenindustrie ermöglichte Anwendung von gusseisernen Ständern und anderen Maschinentheilen kamen den Reformatoren der Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung zu Statten.»

of the tree in the forest to the production of the smallest and most insignificant of articles and to do all such work far more efficiently, rapidly and economically.»[508] Wie bei ihren Vorbildern in der Metallverarbeitung war es durch den Einsatz eines Gusseisenrahmen anstelle eines Holzgestells möglich, Präzision, Stabilität und Bearbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen. In gleicher Weise wurden aber auch hölzerne Handwerkzeuge und Maschinenbauteile nun mit Maschinen-Werkzeug-Technik gefertigt[509], so dass Holz noch bis Ende des 19. Jahrhunderts ein wesentlicher Bestandteil von Maschinenkonstruktionen war[510]. Ähnlich wie die Handwerkzeuge sich prinzipiell seit ihrer Erfindung kaum verändert haben, tragen auch die heutigen Werkzeugmaschinen zur Holzbearbeitung unverkennbar die Züge ihrer ersten Vertreter. Im Gegensatz zu den Sägegattern mit ihrem in den Mechanismus integrierten Materialvorschub ist es ein Kennzeichen sämtlicher Werkzeugmaschinen der Holzbearbeitung, dass das Werkstück von Hand auf das Werkzeug zubewegt wird[511]. Ich will daher folgende Unterscheidung treffen: Wird das Werkstück entlang von Anschlägen auf das Werkzeug zubewegt, findet die Bewegung also im Reuleaux'schen Sinn unter Beschränkung statt[512], handelt es sich um Maschinen-Werkzeug-Technik. Kann der Bearbeiter die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück frei bestimmen, ist es mechanisierte Hand-Werkzeug-Technik. Wie wir an den folgenden Beispielen gleich sehen werden, ist diese Unterscheidung nicht immer ganz eindeutig zu treffen (vgl. Kapitel 3.3).

Kreissäge

Die Kreissäge ist das erste Werkzeug, das einen Endlosschnitt durchführen kann. Das Patent für eine Säge «von einer kreisförmigen Gestalt»[513] stammt von Samuel Miller 1777 aus Southhampton, die Entwicklung wird der Familie Taylor aus der gleichen Stadt zugeschrieben[514].

---

508 Stafford Ransome, Modern Woodworking Machinery, 1924, S. 1 nach Louw 1993, S. 27

509 Karmarsch 1872, S. 558

«.. aber eines sehr wichtigen Fortschritts muss gedacht werden, der darin besteht, daß die fabrikmäßige Verfertigung der Holzbearbeitungs=Werkzeuge Platz gegriffen hat, und zwar nicht bloß der aus Eisen und Stahl gemachten Werkzeuge und Werkzeugbestandtheile, sondern ganz vorzuglich auch der hölzernen, die ehemals der Holzarbeiter selbst anfertigen mußte.»

510 Besonders in den USA, wo die Stahlverarbeitung weniger dominant war, konnten sich gusseiserne Maschinenbauteile zunächst nicht durchsetzten. Dazu Louw 1993, S. 31f:

«Due to internal commerical considerations the Americans had also been rather slow in adopting the more sturdy iron frame construction for their woodworking machines. Only 23 of the 73 machines illustrated in the 1860 catalogue of J.A. Fay & Co. for instance, were made of iron.»

Powis Bale 1880, S. 10 führt dies auf «little or no iron and less general ressources» in den USA zurück.

(2005 stehen die USA in der Liste der Staaten mit der grössten Förderung von Eisenerz weltweit an siebter Stelle, vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenerz, Zugang im Januar 2009)

511 Benje 2002, S. 43f:

«Allerdings kommt es bei den Holzbearbeitungsmaschinen, soweit sie nicht etwa in Sägewerken, Hobelwerken u.ä. ihren Dienst tun, zu einer besonderen Abänderung: In der Regel wird das zu bearbeitende Holzstück im Tischlereigewerbe doch von Hand, jedoch an Anschlägen entlang, oder mit Hilfe eines von Hand vorgeschobenen Supports auf die starren oder rotierenden Werkzeugschneiden zubewegt.»

512 vgl. Abschnitt 2.3.5 bzw. Reuleaux 1900, S. 238f

513 Exner 1878, S. 542

514 Louw 1992, S. 22

Millers Patent beinhaltete auch einen Anspruch auf eine Technik der maschinellen Führung des Werkstücks zum Werkzeug[515]. Als Kraftmaschine war eine horizontale Windmühle vorgesehen[516]. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts zählt die Kreissäge zur Standardausrüstung moderner Holzbearbeitungsbetriebe[517]. Dabei beschränkte sich ihr Einsatz auf die Verarbeitung kleiner Querschnitte, während grosse Querschnitte nach wie vor von reziproken Gattersägen bearbeitet wurden[518].

Hobelmaschine

Die Hobelmaschine setzt wie die Kreissäge das Rotationsprinzip um und kann sich auch erst mit diesem Prinzip erfolgreich vom Handwerkzeug Hobel emanzipieren[519]. Im Gegensatz zur Kreissäge, bei dem die Werkzeugschneiden annähernd senkrecht zur Achse stehen, sind die Schneiden der Hobelmaschine auf der Aussenkante einer Scheibe annähernd parallel zur Werkzeugachse angebracht. Die erste Hobelmaschine dieser Art wird Joseph Bramah 1802 zugeschrieben. Bramah realisierte ein grosses, dampfbetriebenes Rad, auf dessen Fläche sich 32 Hohlmeissel und zwei Hobel drehten, während das Holz geradlinig darunter hindurchgeschoben wurde[520]. Die Patentschrift hebt die Bearbeitungspräzision gegenüber der Hand-Werkzeug-Technik hervor: «Tools for producing straight smooth and parallel surfaces on wood and other materials requiring truth in a manner much more expeditious and perfect than can be performed by the use of axes, saws, planes and other cutting instruments used by hand in the ordinary way.»[521]

---

515 Samuel Millers Patent ist ins Deutsche übersetzt wörtlich abgedruckt in Exner 1878, S. 541f. Auszug:
«Während diese Sägen in Bewegung sind, wird das Material oder die Substanz, die sie zu schneiden bestimmt sind, vorwärts geschoben wie folgt. Die früher erwähnte Horizontalwelle hat ein schmales Rad auf sich, bestimmt in seiner Nut ein Seil aufzunehmen. Das Seil geht zu einem zweiten Rade, dessen Achse ein Zahrad trägt (Pinion), im Eingriff mit eiem geraden Balken unter dem Wagen (Kammbaum), welcher gezähnt ist. Der Wagen bewegt sich gleichfalls in Nuthen (groove). Er hat zwei Bewegungen: eine im Vorwärtsschreiten, die andere seitlich, welche letztere durch eine am Ende des Wagens befestigte Schraube vollbracht wird. Die Schraube wird durch die Hand gedreht, um die Stücke gegen die Säge zu dirigieren, entsprechend jeder verlangten Linie, welche geschnitten werden soll.»

516 Powis Bale 1880, S. 6

517 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 211

518 Luke Herbert in ‹Engineers and Mechanics Encyclopaedia› 1837, zitiert nach Louw 1992:
«...the circular, those that cut by a continuous rotary motion, and the reciprocating, which operate as the common pit or frame-saw. The circular sawmills are for the most part used for cutting timber of small dimensions and the reciprocating for large timber, in forming beams, rafters, planks, etc. out of large timber...»

519 Karmarsch 1872, S. 561:
«H o b e l m a s c h i n e n – Das Zurichten des Holzes mittelst der allgemein gebräuchlichen Handhobel ist eine Arbeit von so einfacher Natur, daß deren Ausführung durch eine Maschine eben keinen Schwierigkeiten unterliegt, aber freilig auch wenig Vortheil gewährt, sofern man die Gestalt des Hobels und dessen hin und her gehende Bewegung (wobei große Geschwindigkeit nicht zulässig ist) beibehält. Auf solcher wesentlich unveränderten Anwendung eines dem Handhobel völlig ähnlichen Werkzeugs beruhen die ersten in England gemachten Hobelmaschinen (Hatton 1776, Bentham 1791), welche die Kindheit der Erfindung bezeichnen und eine Bedeutung nicht gewonnen haben. Eine Zukunft konnte sich den Hobelmaschinen nur erst eröffnen, nachdem die Zahl der gleichzeitig wirkenden Schneidwerkzeuge vergrößert und dadurch kreisende Bewegung derselben sowie eine ununterbrochene Wirkung wie große Geschwindigkeit möglich gemacht hatte.»

520 Karmarsch 1872, S. 561

521 McNeil 1968, S. 163 (nach GB-Patent Nr. 2652/1802)

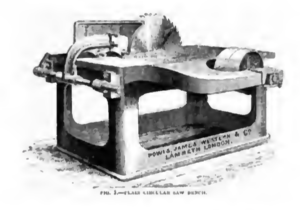


Abb. 60: Kreissäge ca. 1880, Powis, James, Western & Col, London (Powis Bale 1880, S. 20)



Abb. 61: Tischkreissäge 2009, Bosch



Abb. 62: Bandsäge 1875, Fay and Co., Cincinnati (Powis Bale 1880, S. 134)



Abb. 63: Bandsäge 2009, Metabo

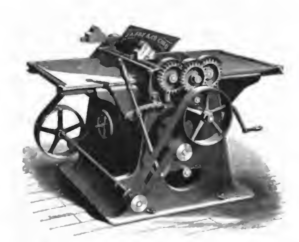


Abb. 64: Hobelmaschine ca. 1878, Fay and Co., Cincinnati (Powis Bale 1880, S. 99)



Abb. 65: Hobelmaschine 2009, Holzmann

Fräsmaschine

Die Erfindung eines senkrecht zum Werkstück stehenden Werkzeugs mit rotierenden Schneidmessern geht für die Holzverarbeitung auf ein Patent Samuel Benthams und seine Maschinenfabrik für Holzbearbeitungsmaschinen von 1792 zurück[522]. 1844 stellt Combettes in Paris eine Fräsmaschine für Kehlungen vor und setzt damit die Verbreitung in Gang[523]. Das Fräsprinzip wurde zuerst in der Metallbearbeitung populär und ist nach Karmarsch 1875 «zur Bearbeitung des Holzes erst in neuester Zeit in ausgedehntem Masse ausgenutzt worden.»[524]

Bandsäge

Die Idee der Bandsäge geht auf ein Patent von William Newberry in London 1808 zurück[525]. Die praktische Umsetzung dieser Idee verzögerte sich um fast ein halbes Jahrhundert, da sich die erforderliche Doppeleigenschaft für den Stahl des Bandsägeblatts, nämlich Schneidfähigkeit (also Materialhärte) verbunden mit Elastizität, lange nicht herstellen liess. Erst 1852 erwarb die französische Firma Perin ein Patent auf die erste funktionsfähige Bandsäge und führte sie 1855 auf der ersten Pariser Weltausstellung mit grossem Erfolg vor. Die Bandsäge vereint das gespannte Blatt des Sägegatters mit der ununterbrochenen Werkzeugbewegung der Kreissäge. Zudem ist das Sägeblatt dünner als bei allen anderen Werkzeugen[526] und verschneidet weniger Material. Daher wird die Bandsäge als «greatest advance in the breaking-down process of woodwork» gerühmt[527]. Die Bandsäge ist eine Maschine, die sowohl für grössere Profile[528] oder geometrisch definierte Werkstücke[529] mit Anschlag, aber auch ohne Anschlag

522 Louw 1992, S. 22f:
«No visual record of these apparatuses exists but Bentham's two patents, filed in 1791 and 1793 respectively, have come to be regarded as models of their kind for the clarity with which the concept behind the inventions was described and their mode of operation specified. The amazing documents which were published shortly after in the 'Repertory of Arts and Manufacturers' contain virtually every principle behind the mechanical processing of wood as well as suggestions for their practical implementation. Eighty years later Bentham's proposals for veneer cutting, curvilinear sawing, wave moulding, wood bending, cutting wood by rotary tools, plus a number of practical devices for facilitating efficient operation of these processes, were still regarded up-to-date. After a detailed analysis of these patents in 1876 the eminent engineer, John Richards, concluded that there was, ‹no modern machine of process, or at least no important one in woodcutting which might not have been drawn from the spedification of Bentham›.»

523 Karmarsch 1872, S. 564f

524 Karmarsch 1875, S. 735

525 Powis Bale 1880, S. 119, Exner 1878, S. 548

526 Finsterbusch und Thiele 1987, S. 224, Benje 2002, S. 38

527 Louw 1993, S. 37

528 Karmarsch 1875, S. 660:
«...zum Sägen der dicksten Hölzer brauchbar [...] erst neuerlich mit vielen Verbesserungen und praktischem Erfolge ausgeführt, wiewohl man den Nachtheil des oftmaligen Zerbrechens der Säge nicht zu beseitigen im Stande ist.»
Powis Bale 1880, S. 126f über eine Bandsäge mit Anschlag:
«In 1869 Mr. George Finnegan, of Dublin, patented an improved version of horizontal band sawing machine, which could, for a heavy class of work, be used in the place of the rack circular-saw bench or large timber frame. [...] The travelling table was driven by rack-and-pinion gear, and the rate of feed could be altered to suit the timber being sawn.»

529 Powis Bale 1880, S. 124 über eine Bandsäge für kreisförmige Werkstücke:
«M. Zimmermann, of Chemnitz, exhibited at our Exhibition of 1862 a band-saw machine with an arrangement for circular cutting by swivelling the work horizontally on the table round a pivot fixed in it.»

für freie ornamentale Arbeiten eingesetzt werden kann[530], so dass sie nach meinem Unterteilungsvorschlag strenggenommen mit Anschlag eine Maschine, ohne Anschlag aber ein ‹mechanisiertes Werkzeug›[531] wäre.

4.1.5 Werkzeugmaschinen zur Holzbearbeitung 2: Hand-Werkzeug-Technik

Unter den Holzbearbeitungsmaschinen des 19. Jahrhunderts gibt es eine grosse Anzahl solcher, die das ‹Halten und Führen sowohl des Werkstücks als auch des Werkzeugs› nicht vollständig ausführen und damit nach den Definitionen in Kapitel 2 ausnahmslos zur Hand-Werkzeug-Technik gehören[532]. Dies sind insbesondere Maschinen, die zum Kopieren von Vorlagen eingesetzt werden. Das 19. Jahrhundert kennt verschiedenste Kopiervorrichtungen zum Bedrucken, Stempeln, Stanzen oder Giessen jeglicher Materialien[533]. Zwei der dieser ‹mechanisierten Werkzeuge› aus der Holzbearbeitung will ich herausgreifen, um zu illustrieren, welcher Art die Ästhetik ist, die mit ihnen erzeugt wird: die Decoupiersäge und die Kopierfräse.

Decoupiersäge (Laubsäge, fret-saw)
Über den Ursprung der Decoupiersäge oder Laubsäge ist wenig bekannt[534]. Diese reziproke Säge mit manueller Werkstückführung eignet sich für die Anfertigung durchbrochener Arbeiten von bis zu 10 cm Materialstärke[535]. «Die Decoupiersägen, welche durch Federn angespannt sind und einen weiten, offenen Raum für die Handhabung des Rohstoffes darbieten, stellen den populärsten Typus von Sägen dieser Art dar.»[536] Sie werden gerne in Verbindung mit der Bandsäge gebraucht: während die schnellere Bandsäge die Aussenkontur schneidet, kommt die Decoupiersäge bei geschlossenenen, innenliegenden Konturen zum Einsatz[537]: «In das Brett oder Fournier wird mittelst eines Bohrers eine kleine Oeffnung gemacht, durch diese Oeffnung das Sägeblatt eingeführt und dann eingehängt. Hierauf kann die Decoupier- oder Laubsäge in Betrieb gesetzt werden.»[538]

530 Exner 1878, S. 314

531 vgl. Abschnitt 2.3.5 bzw. Paulinyi 1978, S. 181

532 vgl. Abschnitt 2.3.5 bzw. Paulinyi 1989, S. 22

533 Babbage 1832 beschreibt eine grosse Bandbreite von Kopiermaschinen in Chapter 11, S. 45–74

534 Powis Bale 1880, S. 138

535 Exner 1878, S. 323:
«Durchbrochene Arbeit (tracery oder fret-work) wird selten in Holz ausgeführt, welches stärker als 2 bis 3 Zoll ist.»

536 Exner 1878, S. 317

537 Exner 1878, S. 314:
«Dieser Fall der alleinigen Verwendbarkeit von Decoupiersägen tritt dann ein, wenn es sich um das Ausschneiden von durchbrochenen Figuren in Brettern oder Fournieren handelt. Solche Figuren, welche die äussere Begrenzung des Holzes bilden, werden weit vorzüglicher durch die Bandsäge hergestellt werden können.»

538 Exner 1878, S. 314

Exkurs: Die Decoupiersäge und der ‹Schweizerstil›

In den Beispielen architektonischer Umsetzungen der Hand-Werkzeug-Technik habe ich mich bisher vornehmlich mit Fragen der Logistik und Masstoleranz beschäftigt. Das Merkmale der Technik aber auch ganz andere Ausprägungen haben können, zeigt das Beispiel des sogenannten ‹Schweizerhaus›, dessen grossräumige Verbreitung ohne die Decoupiersäge kaum denkbar gewesen wäre. Es ist eine Geschichte auf verschiedenen Ebenen. Sie beginnt fernab vom technischen Diskurs auf dem Nährboden der Romantik: Angesichts der rasenten gesellschaftlichen Umbrüche durch die Industrielle Revolution in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wuchs in Europa das Interesse an idyllischen, volkstümlichen Architekturmotiven – und zwar nicht im ländlichen Umfeld selbst, sondern zunächst in den Scheinwelten der Englischen Landschaftsgärten, die sich europäische Herrscher ab Ende des 18. Jahrhunderts einrichten liessen[539]. Zunächst mit exotischen Follies wie griechischen Tempeln, ägyptischen Pyramiden oder chinesischen Pavillons ausgestattet, wurden die Landschaftsgärten im 19. Jahrhundert mit ästhetisierten Landwirtschaftsbauten ergänzt, die eine Rückbesinnung auf die ‹Natur› symbolisierten. Dabei war die Architektur der schweizerischen Bergbevölkerung von besonderem Symbolgehalt, stand sie doch neben dem Bezug zu einer wildromantischen Landschaft für die erste Demokratie Europas[540]. Vorbildtreue war dabei kein ausschlaggebenders Kriterium; so inszenierte beispielsweise Karl-Friedrich Schinkel (1781–1841) für Friedrich Wilhelm III von Preussen in dessen Landschaftsgarten auf der Pfaueninsel in Potsdam 1830 ein mit klassizistischen Stilelementen stark verfremdetes ‹Schweizerhaus›.

Die Popularität des Schweizerhauses machten sich schweizerische Holzbau-Betriebe zu Nutze, die das volkstümliche Folly in ein industrielles Produkt verwandelten und im Zuge dessen den Schritt von einer handwerklichen Tradition zur einer mechanischen Fertigung vollzogen[541]. In diesem Zusammenhang wird das Schweizerhaus zum ‹Chalet›; wiederum mit recht freier Interpretation der Vorlage[542]. «Das erste eigentliche Chalet ist wahrscheinlich das 1829 für den Schweizer Benjamin Delessert in seinem Park von Passy in Frankreich erstellte Haus. Es wurde 1824 oder noch etwas früher in der Schweiz gefertigt und in Einzelteilen auf den

539 Huwyler 1996, S. 56, S. 59
– ‹Berner Haus›, Architekt Giovanni Salucci (1769–1845), in Kleinhohenheim (Stutgart), 1822
– ‹Schweizerei | Schweizerhaus Fischbach› für Prinz Friedrich Wilhelm von Preussen, Burg Rheinstein, Schlesien, 1840

540 Junghanns 1994, S. 28, Huwyler 1996, S. 56

541 Wietersheim Eskioglou 2004, S. 17

542 Wietersheim Eskioglou 2004, S. 14
«Als Grundlage des neuen, universellen Holzstils dient meist das Blockhaus aus dem Berner Oberland, das mit Elementen aus verschiedenen Talschaften neu zusammengesetzt wird. Als charakteristische Merkmale des Schweizer Stils gelten das etwas steilere, weil nicht mehr mit Steinen beschwerte, auskragende Dach, die Konsolen unter den Pfetten in typischer Laubsägemanier, höhere Geschosse, die gedeckten Lauben (traufseitig, giebelseitig, oder ringsherum), die dekorativen Brüstungen aus durchbrochenem Holz, die Schnitzereien an den Gurtungen oder die Bretterverkleidung der Wandkonstruktion, die Profilierung der Fenster- und Türeinfassungen und die Verzierung des Dachraums mit Laubsägeornamenten. Im Gegensatz zu räumlichen konzeptionellen Überlegungen wird das Ornament als gestalterische Dimension betont, welche so nie artikuliert wurde.»

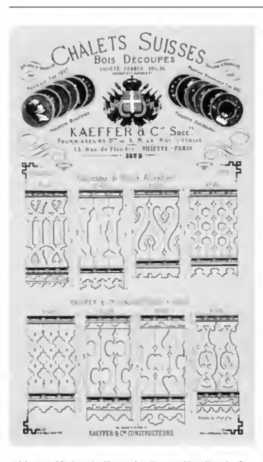


Abb. 66: Verkaufsalbum der Firma Kaeffer & Cie in Paris, Blatt aus dem Angebotskatalog von 1876 (Huwyler 1996, S. 61)

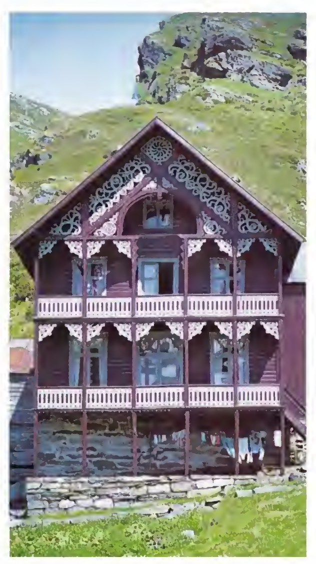


Abb. 67: Touristenhotel in Turtagrø (Luster, Norwegen) im ‹Sveitserstil›, 1888-89, 300 km entfernt in Bergen vorgefertigt (Drange et al. 2003, S. 40)



Abb. 68: Dampfbetriebene Decoupirsäge (Powis Bale 1880, S. 140)

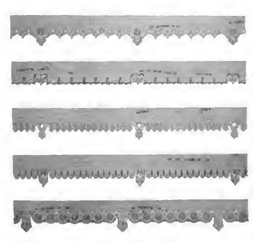


Abb. 69: Zierbretter nach Schablonen (Schadwinkel 1986, S. 59)

einige hundert Kilometer entfernten Bauplatz transportiert.»[543] Für den internationalen Handel boten die Betriebe bald in Katalogen vorfabrizierte ‹Swiss-Chalets› an, die sie an Präsentationen wie der Weltausstellung in Paris 1867 zum erfolgreichen Fertighaus-Exportprodukt machen konnten[544]. Dabei war die Palette nicht auf die abgebildeten Typen beschränkt; die Chaletfabriken schnürten vielmehr im Sinne eines heutigen Totalunternehmers ein Paket aus Entwurfs-, Planungs- und Bauleistungen[545]. Als die einheimische Forstwirtschaft erschöpft war, begannen die Unternehmer damit, Holz zu importieren und sogar im Ausland zu fertigen[546]. Durch die Überwindung der regionalen Baubedingungen kann der Schweizerstil zu einem universellen, bald global anzutreffenden Stil werden[547]; der sich beispielsweise in Norwegen unter dem Namen ‹Sveitserstil› als Holzstil für die Zeit zwischen 1840 und 1920 etablierte[548].

543 Huwyler 1996, S. 61

544 Dana 1913, S. 21ff
«Geneva is a famous home of châlet manufacture and design. From its fabriques, châlets of all manner of shapes and sizes are sent into the world to become summer houses, mountain railroad stations, dwellings, hotels, etc. [...]
The dwelling in America is erected on the site. The lumber or other building materials is brought to the site and then shaped and erected, with the exception of such stock material as doors, window frames and milled pieces. On the other hand, the châlet is entirely constructed at the fabrique [...]. It is all shaped and fashioned, and put together, built actually in the mill yard. It is then knocked down and shipped to its permanent site.»
Dana 1913, S. 27 über die Produkte der Firma ‹Spring Frères›:
«These châlets are constructed in panels at the factory and shipped to any point; with the exception of the foundation, an entire châlet can be manufactured, shipped and erected in thiry days' time.»
vgl. Wietersheim Eskioglou 2004, S. 146ff

545 Dana 1913, S. 28 übersetzt aus dem Propektmaterial der Parquet- und Chaletfabrik Interlaken.
«The châlet can be constructed in any dimensions, and upon any site. The manufacturers will furnish sketches, plans, and an estimate cost on application: an exact plot, showing the approximate location planned is sufficient to enable them to prepare these.»
Müller 1996b, S. 207 über die Holzbau- und Parkettfabrik Bucher und Durrer, Sarnen:
«In dem seit 1874 sich sukzessive vergrössernden Betrieb fanden neben Schreinern, Fräsern, Parqueteurs, Sägern, Handlangern, Pferde- und Kutscherknechten auch Entwurfsarchitekten Arbeit. Zu ihnen gehörte der St. Galler Henry Meister und von 1887–1890 der gebürtige Basler Jacques Gros.»

546 Müller 1996b S. 208 über die Holzbau- und Parkettfabrik Bucher und Durrer, Sarnen:
«Als die Eichenbestände im Kanton Obwalden weitgehend aufgebraucht waren und auch das Buchenholz rarer wurde, kauften sie ab 1880 Waldungen auf dem Balkan und später im Kaukasus und in Georgien. 1885 errichteten sie in Bukarest eine Parkettfabrik und vier Jahre später in Grossesti im nördlichen Rumänien ein Dampfsägewerk.»

547 Dana 1913, S. 127:
«The Swiss Châlet to-day is to be found scattered here and there all over the globe. [...]
The châlet motive is not Swiss; it is not Tyrolean, nor Himalayan. It is universal. And by reason of its inherent beauty it is adaptable to any site and any condition where land is plentiful, and where picturesqueness and harmony with the natural surroundings are the first considerations.»
vgl. zur globalen Rezeption des Schweizerhauses Horisberger 1999

548 Drange [et al.] 2003, S. 36–43
Gleichzeitig exportierte Norwegen seine eigenen ursprüngliche Holzbauten, vgl. Zippelius 1993, S. 39:
«Das norske hus gehörte in den Jahren um 1800 fast zum Standard-Inventar der dänischen Landschaftsgärten, man wird es als Pendant der ‹Schweizerhäuser› in Frankreich und Deutschland bezeichnen dürfen. Wie dort, sollte auch hier die idealisierte Bergnatur als arkadische Wunschwelt sinnfälligen Ausdruck finden.»
Junghanns 1994, S. 28 berichtet von einem schwedischen Pendant, dass nach Deutschland und England exportierte.

Ohne die maschinelle Schnittholzbearbeitung für die Blockbau-Konstruktion[549] aus nummerierten Einzelteilen[550] und die Decoupiersäge für die Fertigung der volkstümlichen Ornamentik wäre dies kaum denkbar gewesen, so dass ausgerechnet eine ästhetische Rückbesinnung zu einer «Keimzelle des Fertigteilbaus»[551] wird. In der Vermarktung berufen sich die Betriebe jedoch nicht auf die mechanisierte Fertigung, sondern ausdrücklich auf ihr volkstümliches Vorbild[552], so dass technische Aspekte im Hintergrund blieben.
In enger Verbindung mit der Popularität des Schweizerhauses steht Ernst Gladbachs (1812–1896) Sammlung von Bauaufnahmen traditioneller handwerklicher Holzbauten[553], mit deren Veröffentlichung sich der Begriff eines ‹Schweizerstil› international verbreitet. Im Geist der Romantik sieht Gladbach die Qualität der erhaltenen Bauten in ihrem «Ausdruck von allgemein anerkanntem poetischem und künstlerischem Werthe», weshalb er sie für die Baukonstruktionslehre an der ETH Zürich als «Fundgrube zu stylistischer Belegung der Construktion»[554] einführt. Die maschinelle Umsetzung der ländlichen Vorbilder mit ihrem ausschliesslichen Fokus auf das Pittoreske ist Gladbach hingegen ein Dorn im Auge: «In der Neuzeit ist dieser Baustyl bei Landhäusern und dergl. selbst in den fernsten Gegenden auf die veränderten Bedürfnisse angepasst worden, und grosse Etablissements im Oberland sowie auf Maloja in Graubünden wetteifern mit Hülfe der Dampfkraft in der Reproduzierung dieses eigenthümlichen Holzbaus.»[555] Doch die Mechansierung erweist sich in ihrer Eigendynamik als stärker als die Rücksicht auf den bäuerlichen Nutzbau[556], denn Gladbachs Veröffentlichungen tragen zur eigentlichen Verbreitung dessen bei, was er zu bekämpfen versucht[557].

549 Dana 1913, S. 24 über einen Besuch bei der Firma ‹Ody and Co. Geneva›:
«At this plant there is a saw-mill, woodworking room, parquetry section and drying department, all equipped with the most modern machinery, which was introduced following a heavy fire in 1906. Among the many machines are band-saws, planers, moulders and mortisers, and a combination of groover, planer, chamferer and moulder.»

550 Dana 1913, S. 49:
«In the yards of the Sulgerbach Châlet Fabrik at Berne the writer saw a large châlet being erected, which was later to be dismounted preparatory to shipment to Geneva. Its top wall beam was numbered 29.»

551 Tschofen 2002

552 Dana 1913, S. 27f übersetzt aus dem Propektmaterial der Parquet- und Chaletfabrik Interlaken:
«The different styles of old Swiss ‹block houses›, the sturdy construction of which has remained unaffected for centuries, and whose picturesque outlines harmonize so well with the landscape, serve as a model type for châlet construction and design.»

553 Gubler 1979, S. 393

554 Gladbach 1882, Bd. 1, Einleitung

555 Gladbach 1876, S. 2

556 Giedion 1948, S. 344:
«From the 'forties on, reformer followed reformer in decrying the persistent evil, but mechanization proved stronger.»

557 Huwyler 1996, S. 40:
«Es ist wohl eine Ironie des Schicksals, dass diese Werke, geschaffen aus der Sorge um den seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts einsetzenden Bruch im traditionellen und regional eigenständigen Hausbau, vorwiegend bei den von der vermeintlichen Alpenidylle begeisterten Touristen und Anhängern der Schweizerhausmode Käufer fanden.»
Prominente Aufnahme finden Gladbachs Bauaufnahmen beispielsweise in Warth 1900, S. 47–69, mit Abbildungen von Gebäuden mit Laubsägearbeiten im ‹Schweizerstil› auf den Tafeln 4–7, Tafel 79, vgl. auch Krauth und Meyer 1895 (Untertitel. «mit besonderer Berücksichtigung der äusserern Form»), Tafeln 27–77 und Issel 1900 S. 161–188

Kopierfräse (Schnitzmaschine)

Die Kopierfräse – früher auch Schnitzmaschine – ist ein Werkzeug, dass das Fräsprinzip zum Fertigen ornamentierter Platten und Kopieren dreidimensionaler Objekte vornehmlich im Innenausbau anwandte. Es ist ein interessantes Werkzeug, welches sich bereits an der Schwelle zur Informations-Werkzeug-Technik befindet, heute weniger bekannt und selbstverständlich ist als die oben vorgestellten Fertigungsverfahren und daher eine etwas ausführlichere Darstellung verdient. Karl Karmarsch beschreibt die Maschine wie folgt:

«Schnitzmaschinen – mit diesem Namen hat man Maschinen bezeichnet, durch welche auf flachen Holztafeln Reliefverzierungen behufs eingelegter Arbeit so gebildet werden, dass sie wenig oder keine Handarbeit zur Vollendung erfordern. Das Werkzeug ist hierbei ein Bohrer oder bohrerähnliches Instrument, dem in aufrechter Stellung eine schnelle Drehung um sich selbst und zugleich eine auf und nieder spielende Bewegung gegeben wird, während es auf dem Holze in bestimmter Weise fortrückt oder umgekehrt das Holz unter ihm sich verschiebt. Das Mittel zur Regulierung dieser Bewegungen ist entweder ein Modell des anzufertigenden Relief, oder eine auf dem Holze festgelegte Schablone, oder auch nur eine Vorzeichnung.»[558]

Der Ingenieur Thomas Brown Jordan (1807–1890) entwickelte die erste funktionstüchtige Kopierfräse, die in den 1840er Jahren für die Grobbearbeitung der Innenausstattung des ‹House of Lords› in den nach einem Brand im neogotischen Stil neu aufgebauten Houses of Parliament eingesetzt wurde[559]. Ähnlich den Laubsägearbeiten des ‹Schweizerstil› trifft hier eine formale Rückbesinnung auf zeitgenössische, mechanische Fertigungsverfahren: Auf einem in alle Richtungen beweglichen Arbeitstisch waren eine Vorlage und vier Werkstücke befestigt. Durch das Entlangbewegen der Vorlage an einem fest montierten Taster bestimmte ein Arbeiter die Relativbewegung zwischen den Werkstücken und den jeweiligen Fräsern. Wie schon bei den Drehmaschinen der Metallbearbeitung war die Endbearbeitung ein handwerklicher Prozess, so dass man die Bearbeitung mit dem heutigen Begriff des ‹Schruppen› vergleichen kann[560].

Halbautomatische und automatische Kopierfräsen, die Vorlagen selbsttätig verarbeiten konnten, wurden erst im 20. Jahrhundert entwickelt. Von dem ‹Marbut Rapid Moulding Carver›,

---

558 Karmarsch 1872, S. 566f

559 Tomlinson 1854, Bd 1., S. 336.
«As a proof of the value of Mr Jordan's machine, we may mention that the beautiful and elaborate wood-carving which adorns the new Houses of Parliament has been produced with this machine.»

560 Tomlinson 1854, Bd 1., S. 334:
«…it yet remains evident that machinery can only imitate, not invent, and therefore the position of the original designer is maintained, while his works are better known to fame by these facilities of repetition. It is also to be remembered that the work of the machine is only partial, and that the finer details are still delivered over to be performed by hand.»
Port 1976, S. 284f:
«The Builder said in 1847 of the carvings in the Lord's Chamber: ‹The carvings were all first boosted by Jordan's machine (a most important invention) and then finished by hand.› It will therefore be seen that the final carving was done by hand, all the machine did was to rough out the details from the solid wood. Its great importance to the internal woodwork is obvious, although to what extent it was used to carve furniture details is not yet known.»



Abb. 70: Kopierfräse von Thomas Brown Jordan (Tomlinson 1854, Bd. 1, S. 334)

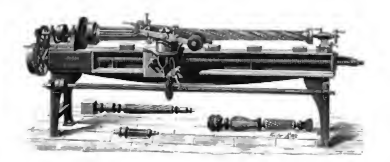


Abb. 71: Kopierdrehbank von F. Arbey, Paris (Powis Bale 1880, S. 255)

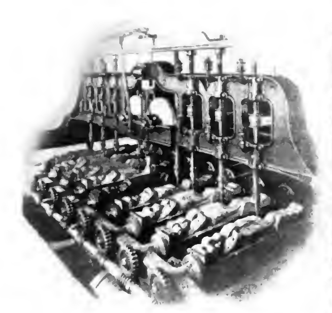


Abb. 72: Automatische Kopierfräse, aus ‹Illustrated Carpenter and Builder›, 3. April 1903 (Louw 1993, S. 46)

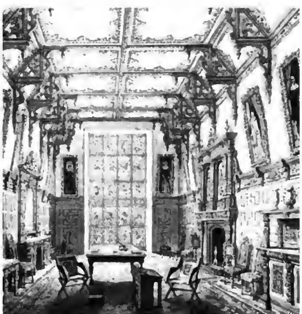


Abb. 73: Maschinell gefertigte Innenausstattung, aus dem Katalog der Patent Wood Carving Company, London 1845 (Louw 1992, S. 29)

der von der Firma A. Ransome Co. 1900 in Paris vorgestellt wurde, sagt man, dass er mit einem einzigen Maschinenbediener die Arbeit von 2.000 ausgebildeten Schnitzern ersetzen könne[561]. Die ‹automatic carving machine› von 1903 konnte acht Schnitzfiguren in 1 3/4 h ohne Beaufsichtigung anferigen[562]. Damit stehen diese fortgeschrittenen Kopierfräsen an der Schwelle zur Informations-Werkzeug-Technik, da sie selbsttägig Informationen in Form der Vorlagen verarbeiten, also über einen austauschbaren, von der Maschine trennbaren Informationsträger verfügen.

Im Maschinenbau der 1920er Jahre kamen in den USA elektrische Kopiersteuerungen auf den Markt, die im folgenden Jahrzehnt auch in Europa verbreitet wurden. Diese fühlergesteuerten Fräs- oder Drehmaschinen tasteten ein Modell ab und reproduzierten es selbstständig. Dadurch wurde in Teilbereichen der Produktion die Geschicklichkeit hochqualifizierter Facharbeiter auch bei komplexen Formen ersetzt. Diese Kopiersteuerungen waren bereits bei Serien von zehn Werkstücken wirtschaftlich einsetzbar, doch waren sie trotz des automatisierten Bearbeitungsvorgangs für eine Massenproduktion zu langsam[563].

Der amerikanische Historiker David Noble beschreibt fünf einschränkende Eigenschaften der Informationsverarbeitung mit mechanischen Kopierfräsen: «First, tracer technology was only partial automation, since templates often had to be changed for each contour, not each part. Second, set-ups were expensive and complicated, especially for three-dimensional machining. Third, repeated use of templates meant inevitable wear of surfaces and reduced accuracy. Fourth, storage of templates, most of which were for a single job or a single part, was costly and required complex inventory and retrieval systems. Finally, and most important from the standpoint of management, tracer technology still relied heavily upon the skills not only of the machinists who set up the machine and supervised the cutting operations but also of the patternmakers who made the tracer templates»[564].

Was die Information, wie sie einer Kopierfräse vorliegt, von der Art einer mit Information-Werkzeug-Technik operierenden Maschine unterscheidet, ist die Methode der Informationsübertragung. Die Vorlage der Kopierfräse kann nicht anders repräsentiert werden als mit der Vorlage selbst. Das bedeutet, das jede Form erst einmal manuell gefertigt werden muss, bevor sie maschinell gefertigt werden kann. Die Abnutzungserscheinungen, die beim mechanischen Abtasten zunehmend entstehen, werden ebenso übertragen. Eine eindeutig reproduzierbare Formbeschreibung liegt also nicht vor.

561 Louw 1993, S. 45

562 Louw 1993, S. 46

563 Benad-Wagenhoff [et al.] 1993, S. 234

564 Noble 1984, S. 83

Die wesentlichen Werkzeugmaschinen der Holzbearbeitung waren damit in ihren Grundzügen alle bereits bis Mitte des 19. Jahrhundert entwickelt und wurden fortan in Gestalt, Material und Konstruktion perfektioniert, aber nicht mehr grundsätzlich verändert. Es ist auffällig, das sämtliche Werkzeugmaschinen, so unterschiedlich so auch sein mögen, schnelle Rotation zur Grundlage der Werkzeugbewegung machen – eine Bewegung, die mit den Händen nur sehr langsam und umständlich ausführbar ist, da sie ein ständiges Umgreifen erfordert. Während die Hand-Werkzeug-Technik eine Tendenz zur reziproken Bewegung zeigt, ist die Rotationsbewegung ein Prinzip der Maschinen-Werkzeug-Technik (vgl. Tabelle 10)[565].
Eine letzte entscheidende Umgestaltung brachte die Verfügbarkeit einfach zuführbarer elektrischer Energie mit einer entsprechenden Infrastruktur und folglich die schrittweise Umstellung der Kraftmaschine von grossen zentralen Dampfmaschinen – über das kurze Zwischenspiel der Gasmotoren[566] –auf kleine dezentrale Elektromotoren[567]. Dabei existierten beide Energiewandler bis weit ins 20. Jahrhundert nebeneinander: Nach Wilhelm Exner 1878 «kommen nur zwei Arten von Motoren in Anwendung: Wasserräder oder Turbinen und Dampfmaschinen.»[568] Für Stafford Ransome 1902 kommt eine elektrisch betriebene Sägemühle gegenüber Dampfantrieb «only under very exceptional circumstances» in Frage[569]. Ebinghaus und Fritsche nennen 1939 die Dampfmaschine neben Elektro- und Verbrennungsmotoren als besonders unempfindliche, standortunabhängige Antriebsmaschine[570]. Wichmann dagegen schreibt 1940, transmissionsgetriebene Maschinen würden nur noch als Sonderanfertigung geliefert und seien abgelöst durch den elektrischen Einzelantrieb[571]. Die mechanischen Prinzipien der Holzverarbeitung mit Maschinen-Werkzeug-Technik blieben dabei im gesamten als Industrialisierung bezeichneten Zeitraum bis heute unverändert.

565 Giedion 1948, S. 47.
«That is precisely what mechanization does: endless rotation: The difference between walking and rolling, between the legs and the wheel, is basic to all mechanization.»

566 vgl. Benje 2002, S. 129ff
«Durch den Gasmotor wurde die Umkehrung der allgemeinen Entwicklungslinie der Kraftmaschinen in eine Entwicklung von g r o s s nach k l e i n entscheidend gefestigt und endgültig durchgesetzt.»

567 Ein kurzer Abriss der Entwicklung des Elektromotors nach Tuchel 1967, S. 296:
Thomas Davenport entwickelte 1834 in Vermont einen Kommutatormotor (Gleichstrommaschine) und erhielt 1837 das weltweit erste Patent auf den Elektromotor. 1866 erfand Werner von Siemens die Dynamomaschine auf Grundlage des dynamoelektrischen Prinzips, die erstmals eine Erzeugung elektrischer Energie in grösserem Umfang ermöglichte. Durch die Umkehrung des dynamoelektrischen Pinzips gelang der Firma Siemens & Halske (Vorgänger der heutigen Siemens AG) 1878 die Konstruktion eines brauchbaren Elektromotors und ein Jahr später 1879 der Antrieb einer elektrischen Lokomotive mit 3PS und – einem elektrischen Webstuhl

568 Exner 1878, S. 497

569 Ransome 1902, S. 46

570 Ebinghaus und Fritsche 1939, S. 108

571 Wichmann 1940, S. 53

4.2 Auswirkungen der Maschinen-Werkzeug-Technik auf die Holzbearbeitung

Will man sich auf die Umsatzsteigerung durch Maschinen-Werkzeug-Technik einlassen, bedeutet dies, den gesamten Arbeitsprozess nicht mehr auf die Möglichkeiten der Hand, sondern auf das Potential der Maschine abzustimmen[572]. Alles, was sich durch die Maschinen-Werkzeug-Technik in der Holzbearbeitung verändert, hat auf irgendeine Weise immer mit Vereinheitlichung zu tun. Bauteile und Details werden austauschbar, der Werkstoff selbst wird homogenisiert. Innerhalb unseres Gedankenmodells ist dies auf die Trennung von Stoff-, Energie- und Informationsverarbeitung zurückzuführen: Dort, wo Stoff und Energie umgesetzt werden, findet kein variabler Informationsfluss statt, da die weitergebene Information in den Maschinen fixiert ist. Daher ist man gezwungen, den Informationsgehalt eines Bauwerks nur gerade so gross zu halten, dass die Vereinheitlichung gewährleistet ist. Das Stichwort heisst Wiederholung.
Entscheidungen über die jeweiligen Standards am Bau kann nun nicht mehr jeder Baubeteiligte für sich treffen, so wie dies die Zimmermänner der Hand-Werkzeug-Technik taten, als jeder in seinem eigenen Arbeitsbereich ein eigenes System von Abbundzeichen anwandte. Die Maschinen-Werkzeug-Technik reicht sogar weit über die Bautechnik hinaus in die Formgebung. Gerade in der Formgebung ist der Unterschied zwischen den mechanisierten Werkzeugen aus Kapitel 4.1.5 und der Maschinen-Werkzeug-Technik besonders augenfällig: Während Decoupiersäge und Kopierfräse die Werkzeuge eines überbordenden Historismus und Eklektizismus sind, zwingt die Anwendung von Maschinen-Werkzeug-Technik hin zu einem ornamentlosen Bauen mit standardisierten Elementen. Hentie Louw schreibt dazu: «No longer did the machine affect merely the lower end of the skillrange concerned with the ‹breaking down› of the material, where much of the work involved strenuous physical labour. It had now also begun to impinge seriously on the creative domain of the artist and the craftsman, and to undermine the position of professional designers like architects.»[573]
Die Maschinen-Werkzeug-Technik gibt den Takt an; Handwerker, Künstler, Ingenieure und Architekten müssen sich damit arrangieren. Oder auch nicht: Es sind erstmals im Bauwesen gegensätzliche Haltungen zur Rolle der Technik zu beobachten. Auf der einen Seite stehen die theoretischen Grundlagen der Industrialisierung, wie sie etwa Charles Babbages (1791–1871)

572 Giedion 1948, S. 46:
«Beyond enumeration are the domains of mechanization and all the techniques that have gone to build up the life we know today. But the method that forms the basis of all mechanization is amazingly simple.
The human hand is a prehensile tool, a grasping instrument. It can seize, hold, press, pull mold with ease. It can search and feel. Flexibility and articulation are its key words. [...]
For all the complicated tasks to which this organic tool may rise, to one thing it is poorly suited: automatization. In its very way of performing movement, the hand is ill-fitted to work with mathematical precision and without pause.«
573 Louw 1996, S. 22

in ‹On the Economy of Machinery and Manufacturers› (1832)[574] niedergeschrieben hat. Auf der anderen Seite bildet sich eine sich auf Hand-Werkzeug-Technik berufende, gestalterisch in mittelalterlicher Ästhetik verwurzelte Gegenposition, wie sie durch John Ruskin (1819–1900) mit ‹The Nature of Gothics› (1853)[575] und die Arts-and-Crafts-Bewegung vertreten wurde.

4.2.1 Vereinheitlichung der Abmessungen: Austauschbau

Die Maschinen-Werkzeug-Technik bot durch ihre neue Fertigungspräzision zum ersten Mal die Möglichkeit, preisgünstig nahezu identische Bauteile herzustellen[576]. So weit die Theorie. Die Massenproduktion von Bauteilen stellt keine grosse technische Hürde dar, so lange sie auf Produkte angewendet wird, die wie beispielsweise Nägel nur aus einem einzigen Bauteil bestehen. Die Herausforderung beginnt, wenn Produkte hergestellt werden sollen, die aus vielen, aufeinander abgestimmten Bauteilen zusammengesetzt sind. Noch anspruchsvoller wird es, wenn diese Produkte arbeitsteilig von verschiedenen Personen und Unternehmen an verschiedenen Orten hergestellt werden sollen. Die Umsetzung eines solchen Konzepts erfordert erstens Vereinbarungen über Masse und Eigenschaften (Ziele) und zweitens die Minimierung der Abweichungen (Toleranzen). Lilley bezeichnet diesen Ansatz als «mass-production on the principle of interchangeability, or more briefly interchangeable manufacture»[577].
Der im Deutschen gebräuchliche Begriff ‹Austauschbau› bedeutet nicht nur, «dass verschiedene Ausführungen desselben Stückes hinsichtlich ihrer Masse so genau übereinstimmen, dass jedes Stück ohne weiteres an Stelle jedes anderen benutzt werden kann. […] Es ist vielmehr notwendig, dass alle für das betreffende Erzeugnis in Betracht kommenden technischen Eigenschaften gleichwertig sind, so dass die einzelnen Stücke nicht nur in masslicher Beziehung gegeneinander austauschbar sind.»[578] Der Austauschbau ist die Grundlage der (tayloristischen) Zerlegung des Produktionsprozesses in einzelne, wirtschaftlich optimierte Arbeitsschritte. Wie gesagt, so weit die Theorie. Bis gleiche Maschinenabläufe tatsächlich gleiche Teile produzierten und entsprechende Vereinbarungen über Masssysteme getroffen wurden, vergingen 150 Jahre[579].
Die Idee der Austauschbarkeit von Komponenten wird schrittweise ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu gleicher Zeit in verschiedenen Berufen und Ländern entwickelt. Ein

---

574 Babbage 1832

575 siehe 2. Kapitel in ‹Stones of Venice›, Ruskin 1898

576 Umgekehrt wäre es aufwändig, eine solche Maschine für die präzise Produktion unterschiedlicher Teile einzurichten, denn dazu müsste sie – innerhalb der dafür vorgesehenen Abmessungen – jedesmal manuell neu justiert werden, was einen Unterbruch der Produktion bedeutet hätte.

577 Lilley 1966, S. 150f

578 Mackbach und Kienzle 1926, S. 70

579 vgl. dazu beispielsweise Mende 1989

Fokus der Arbeiten waren Handfeuerwaffen, deren empfindliche mechanische Schlösser bei Reparatur und Austausch von Komponenten ein grosses Problem darstellten. Zwei frühe, scheinbar gescheiterte Versuche verweisen nach Frankreich 1771 und auf den Waffenschmied Honoré Le Blanc 1785, dem die Idee des Austauschbaus zugeschrieben wird[580]. Der amerikanische Erfinder Eli Whitney, einst vielfach als alleiniger Urheber des Austauschbau angesehen[581], versuchte 1798 das Austausch-Prinzip bei der Produktion von 10.000 Musketen umzusetzen: Wassergetriebene Maschine wurden zum Schmieden, Walzen, Bohren, Schleifen und Polieren eingesetzt, die Endbearbeitung musste aber handwerklich ausgeführt werden[582]. Hinweise für einen Bedarf an genormten Teilen aus Eisen und Stahl in grossen Stückzahlen gibt es auch für die frühen Textilmaschinen des 18. Jahrhunderts[583].
Ein gut dokumentiertes und erfolgreich realisiertes Beispiel aus England ist eine Produktion von Flaschenzügen für die britische Admiralität in Portsmouth, die Henry Maudslay 1808 mit dem damaligen Generalinspektor der Marine Samuel Bentham und dem Ingenieur Marc Brunel konzipierte (wie später auch später in gleicher Konstellation 1814 die Chathamer Dampfsägewerke). Auf Grund der geringeren Toleranzen war diese Aufgabe offenbar weniger anspruchsvoll als die Waffenproduktion[584]. Das Portsmouth-Projekt gilt als weltweit erstes brauchbares maschinelles Fabriksystem. Obwohl es ein enormes Potential zur Einsparung von Arbeitskraft zeigte, wurden seine Prinzipien vorerst nicht weiterverfolgt[585].
Zur vollen Geltung kam das Prinzip der Austauschbarkeit in den USA[586]: Der amerikanische Erntemaschinen-Hersteller McCormick war einer der ersten Maschinenbauer, der um 1850 das Prinzip der Austauschbarkeit erfolgreich in seine Produktkonzeptionen einzubinden wusste: McCormicks Erntemaschinen bestanden aus ‹interchangeable parts›, die gleichen Teile konnten im Reparaturfall ausgetauscht, aber auch zu verschiedenen Maschinentypen zusam-

---

580 Lilley 1966, S. 152

581 Nathan Rosenberg in Hausen und Rurup 1975, S. 225:
«Die Auffassung, das das System der vollaustauschbaren Teile bei der Musketenherstellung in voll entwickelter Form aus Whitneys Erfindergeist hervorging, hat man nun stillschweigend aufgegeben. Es ist klar, dass der neue Mechanismus und die neue Technologie das Produkt von gemeinsamen Bemühungen waren, ähnlich gelagerte Probleme zu überwinden, mit denen nicht nur Whitney, sondern auch Männer an anderen Orten beschäftigt waren wie Robbins und Lawrence, Ames Manufacturing Company, Colts Waffenfabrik und auch die Regierungswaffenfabriken in Springfield und in Harper`s Ferry.»

582 Trumpold [et al.] 1997, S. 2, vgl. auch Green 1956

583 Benad-Wagenhoff [et al.] 1993, S. 207

584 Lilley 1966, S. 151f:
«A notable early example of this type of mass-production was the factory for producing pulley blocks for the Admirality, which began work in England about 1808. This scheme was the joint product of Marc Brunel and Samuel Bentham. Henry Maudslay executed the machinery, which was divided up inot specialised groups for each of the processes involved. There were forty-four machines in all, of thoroughly modern design, and so good was the production method that ten unskilled men did the work that formerly required 110 skilled craftsmen. The output was about 130,000 blocks a year, greater than the previous output of the six largest dockyards. For a capital expenditure of £54,000, this scheme saved the Admirality £17,000 a year. Yet despite this spectacular demonstration of its effectiveness, the method of interchangeability was not further pursuited in Britain.»

585 Louw 1992, S. 24

586 Neutra 1930, S. 20

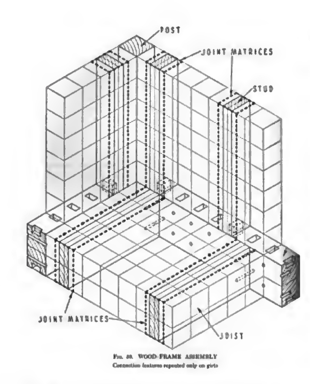


Abb. 74: Albert Bemis, modulares Entwurfselement: Entwerfen mit Würfeln von 4" Kantenlänge (Bemis 1933)

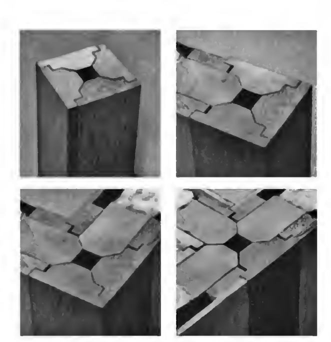


Abb. 75: Walter Gropius und Konrad Wachsmann, modulares Bauelement: Standardbauprofil des General Panel System (Wachsmann 1959, S. 141)

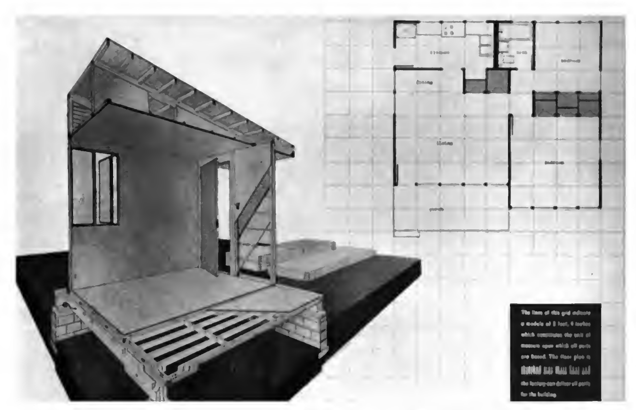


Abb. 76: «Bauelemente des General-Panel-Systems: Lagerhölzer, Fussboden-, Wand-, Fenster-, Decken-, Dachplatten und Binder und Giebelfelder nebst den dazugehörigen Füllstäben, und das modulare System (im Raster 3' 4", Anm. d. A.), auf dem sich hier der konventionelle Grundriss des amerikanischen Kleinhauses aufbaut» (Wachsmann 1959, S. 155)

mengesetzt werden[587]. Etwa zeitgleich machte der Waffenhersteller Samuel Colt in Connecticut das Prinzip der ‹interchangeable parts› zur Grundlage seiner Produkte[588].
Im Holzbau äussert sich die Idee der ‹interchangeable parts› sehr früh; zuerst von Bauteilen (2 × 4" Profile) im Balloon Frame System ab 1832 und später auch für modulare Entwurfsraster für Bauteil-, Baugruppen- und Bauelementefertigung. Vergleicht man die einfachen Bauteilgeometrien, die hohen Bautoleranzen und die einfache Nachbearbeitung mit den Anforderungen an den Maschinenbau und dessen Produkten, wie beispielsweise den Schlössern der Musketen, überrascht der vergleichsweise frühe Erfolg des Ballon Frame nicht.
Der amerikanische Industrielle Albert Bemis markiert 1933 einen Übergang zwischen der Bauteilstandardisierung und dem modularen Bauelement: Er plädiert dafür, sämtliche Masse eines vorfabrizierten Hauses auf einem kleinmasstäbichen Würfel von 4" Kantenlänge aufzubauen. Damit lehnt er sich einerseits an das 2 × 4" Profil des Balloon Frame an und denkt gleichzeitig bereits in komplett modularisierten Entwurfssystemen[589]. Walter Gropius und Konrad Wachsmann griffen auf dieses Grundmodul von 4" zurück, als sie ab 1941 das modulare ‹General Panel System› entwickeln[590]. Sie waren nicht die einzigen prominenten Architekten, die den Zeitgeist erkannten und spezifische Bausysteme im Holzbau erforschten. Die Idee des Bausystems verfolgten ebenso Richard Riemerschmid 1932 mit der Ri-Holzrahmenbauweise und den Ri-Häusern, Hans Scharoun 1931 mit dem System Baukaro und Rudolf Schindler 1945 mit dem Schindler Frame[591].

Lehren und Schablonen: Standardisierung im Betrieb
Lehren sind Hilfsmittel zum Anreissen von wiederkehrenden Massen, beispielsweise eine Lochlehre dient zur Positionierung von Bohrlöchern. Dabei ist nicht die tatsächliche Abmessung der Lehre relevant, sondern die Festlegung der Lehre als Mass. Ging die Lehre verloren oder nutzte sie sich ab, war die Austauschbarkeit nicht mehr gegeben.
Eine ähnliche Funktion hatten Schablonen, die angewandt wurden, wenn eine Umrissform häufig wiederkehrte, beispielsweise bei Zierformen und bei Geländerformen. Sie gewährleisteten, dass die gefertigten Stücke alle gleich geformt waren und auch später nachgeliefert werden konnten[592]. Wie beim ‹Zusammenzeichnen› des Zusammenpassbau wurden die Masse eines Elementes auf ein anderes übertragen. Während beim Zusammenpassbau jedes Element mit genau einem anderen Element verbunden werden konnte, wurden nun die Eigenschaften eines Referenzelementes auf andere Elemente weitergegeben, ohne dass sie dafür numerisch

587 Giedion 1948, S. 48ff, 150ff; Lilley 1966, S. 152f
588 Schodek [et al.] 2005, S. 133
589 Bemis 1933, S. 204, vgl. Kelly 1951, S. 21ff
590 Wachsmann 1959, S. 147, zur zeitgenössischen Wahrnehmung siehe Kelly 1951, S. 191
591 Junghanns 1994, S. 192–207
592 Schadwinkel 1986, S. 58f

beschrieben werden mussten.
Insofern können Lehren und Schablonen nur als eine betriebsinterne Standardisierung betrachtet werden. Für die Herstellung von Produkten, die mit anderen Herstellern kompatibel waren, eigneten sich Lehren und Schablonen nicht. Burnham Kelly schreibt 1951 über den omnipräsenten Einsatz von Lehren bei amerikanischen Fertighausherstellern: «A distinguishing feature of almost every factory producing wood panels was the use of jigs»[593].

Normierung: Standardisierung national und global

Grundlage für zwei austauschbare Teile ist eine verbindliche Festlegung für alle Produzenten. Man muss bedenken, dass die oben aufgeführten Beispiele vom Fertigen von Flaschenzügen, Erntemaschinen und Handfeuerwaffen sich jeweils nur auf die Austauschbarkeit der Produkte einer einzelnen Firma bezogen, also herstellerspezifische Standards waren. Von den verbindlich geregelten nationalen und letztendlich globalen Standards, die wir als Normung bezeichnen, war dabei nicht die Rede.
Otto Kienzle schreibt 1923, «dass die Normung ohne die Bedingung der Austauschbarkeit gar nicht denkbar ist»[594]. Die tatsächliche Vereinbarung standardisierter Masseinheiten und Normung von Toleranzen für den Austauschbau ergab sich dennoch erst vergleichsweise spät, als die Zusammenarbeit von Unternehmen auf nationaler und internationaler Basis unerlässlich wurde[595]. 1875, das erwähnte ich schon, einigten sich siebzehn Staaten in der ‹Convention du Mètre› auf ein gemeinsames Mass- und Gewichtssystem. Damit war eine Normung noch keineswegs vollzogen, fehlten doch Vereinbarungen über Toleranzen sowohl von Abmessungen als auch über alle anderen massgeblichen Materialeigenschaften, wie sie im Bauwesen für die Beschreibung der Leistungsspezifikation von Baustoffen notwendig sind[596]. Zu diesem Zweck bildeten sich erst im 20. Jahrhundert die Nationalen Normenausschüsse: Zuerst in England 1901; dann in den Niederlanden 1916; Deutschland 1917; Frankreich, in der Schweiz, in den USA 1918, usw. Erst 1960 wird das ‹Internationales Einheitensystem SI›[597] festgelegt, von dessen sieben physikalischen Grundeinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere, Candela, Kelvin (1968) und Mol (1971) sich alle anderen Einheiten ableiten lassen.

593 KELLY 1951, S. 315, und weiter: «Horizontal assembly jigs determine the overall dimensions of panels without need of measurement, leveling or plumbing, and usually also determine the locations of members or subassemblies within panels.»

594 KIENZLE 1923, S. 3

595 vgl. TRUMPOLD [ET AL.] 1997, S. 13

596 NEUTRA 1930, S. 22:
«In allen Konstruktionsfächern und besonders im Baufach tritt als klare Beziehung hervor, dass, wenn durch eine genaue Eigenschaftsbeschreibung, am besten durch eine ‹Leistungsspezifikation›, die Qualität eines Baustoffes festgelegt ist, die technischen Sicherheitsfaktoren und somit die Einheitspreise der Konstruktion im selben Mass gesenkt werden können, wie das Einkaufswagnis sich vermindert und die geschäftliche Geschütztheit sich erhöht.»

597 von frz.: Système international d'unités

4.2.2 Vereinfachung der Bauteilgeometrie: Stahlverbinder

Die handwerkliche Holzverbindung kommt für die Konstruktionen der Industriegesellschaft aus verschiedenen Gründen kaum noch in Frage:

— Querschnittoptimierung – Dank zeichnerischen Methoden zur Berechnung der Stabwerkskräfte wie dem Culmann-Verfahren, dem Ritter'schen Schnittverfahren und dem Cremonaplan können die Holzquerschnitte optimiert werden. Grössere Querschnittsschwächungen, wie sie bei den meisten Holzverbindungen im Zimmerhandwerk auftreten, sind bei optimierten Querschnitten statisch nicht mehr vertretbar[598].

— Spannweitenvergrösserung – Die neuen Bauaufgaben des 19. Jahrhundert wie Bahnhöfe, Markthallen usw. erforderten enorme Spannweiten. An den Knotenpunkten der einzelnen Stäbe werden Zugkräfte übertragen, die von Holz-Holz-Verbindungen nicht aufgenommen werden können.

— Bearbeitungskomplexität – Das Anfertigen einer handwerklichen Holzverbindungen setzt sich aus einer Vielzahl von verschiedenen Bearbeitungsschritten zusammen. Eine solch komplizierte Abfolge von Bewegungen ist mit einer Mechanik nicht mit vertretbarem Aufwand nachvollziehbar, so dass das der einfache Stab konstruktiv von der detaillierten Verbindung gelöst wurde.

Den Bedarf an zugfesten Verbindungen hat es natürlich auch schon in früheren Jahrhunderten gegeben. Geschmiedete Holzklammern, Stahlbänder und Bolzen als Zugverbindung wurden in Hängetragwerken wie Brücken und Dachkonstruktionen bereits im Mittelalter eingesetzt[599]. Auf zeitgenössischen Darstellungen sind sie bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts immer Teil einer biegesteifen, gezimmerten Holzverbindung[600]. Die frühe Stahlverbindung ersetzt also nicht die Holzverbindung, sondern unterstützt sie in Zugrichtung. Das Verbindungsdetail selbst war dabei noch hölzern, da der Arbeits- und Materialkostenaufwand eines Stahlverbinders den einer Holzverbindung deutlich überstieg.

Die industriell gegossenen, gewalzten und gestanzten Holzverbinder, die sich zuerst in England und in Frankreich durchsetzten, realisierten das geometrisch komplizierte Verbindungsdetail in Stahl. Die Holzbauteile wurden jeweils maschinell mit einem ebenen Schnitt abgesägt[601]. Der Einsatz von Stahlverbindungen änderte die Statik grundlegend: Erstmals in der Holzbaugeschichte gab es gelenkige, nicht biegesteife Verbindungen sowie eine konst-

598 Holtman 1929 S. 239

599 Gerner 2000, S. 110; in zeitgenössischen Baukonstruktionsbüchern: Krauth und Meyer 1895 S. 81f. Warth 1900 S. 14

600 z.B. Wilhelm 1668, Bd. 1 Tafeln 20 und 43 sowie Bd. 2 Tafel 5; Schübler 1731 Tab. XIV. Romberg 1846, Tafel 53

601 Baudouin 1906, S. 129, Tafel 117; vgl. dazu Romberg 1846, S. 302:
«Von den Dachstühlen mit Anwendung von Eisen in grösseren Massen: In Frankreich und England ist man in Bezug auf die Anwendung des Eisens in der Baukunst weit fortgeschritten und führt in diesem Material Konstruktionen aus, die unsere Anerkennung, wenn nicht Bewunderung, verdienen. In Deutschland ist die ausschliessliche Anwendung des Eisens in Konstruktionen zu Dächern noch wenig in Gebrauch gekommen, und es wäre gewiss für die Baukunst vorteilhaft, wenn wir uns mit dem Verfahren, namentlich der Franzosen, etwas näher bekannt und vertraut machten.»

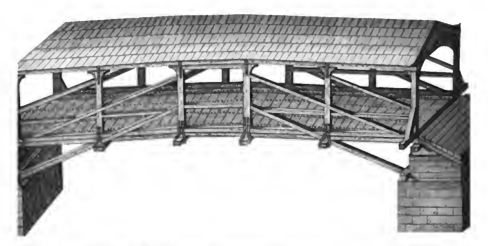


Abb. 77: Stahlzugbänder für Brücke mit Hängewerkkonstruktion (Wilhelm 1668 Bd 1, Tafel 20)

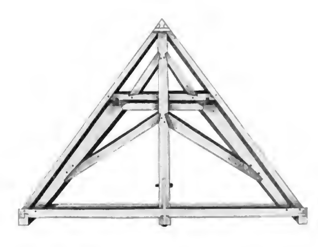


Abb. 78: Hängewerk mit Stahlbolzen an Holzverbindungen; man beachte deren individuelle Geometrien (Wilhelm 1668 Bd. 2, Tafel 5)



Abb. 79: Hängewerk wie links, mit Druckbogen (Wilhelm 1668 Bd. 1, Tafel 43)

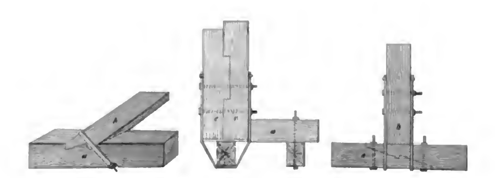


Abb. 80: Holzverbindungen mit Stahlzugbändern und Bolzen (Romberg 1846, Tafel 53, Figuren 581, 588a, 595)

ruktive Aufspaltung der Bauteile in (hölzerne) Stäbe und (stählerne) Knoten; dies aber nicht nur aus fertigungstechnischen Gründen, sondern auch weil die Kräfte in statisch bestimmten Fachwerken mit den oben genannten zeichnerischen Verfahren berechenbar und dadurch auch entwurfsbestimmend wurden[602].
Ihre Verbreitung und ihr heutiges Gesicht erhielten die Stahlverbinder in den vier Jahren des ersten Weltkriegs 1914–1918, als die beteiligten Nationen wegen Verknappung der Ressourcen die Verbindungen so wirtschaftlich wie möglich gestalten mussten[603]. Bei Holtman 1929 sind sie bereits – noch nicht ganz in ihrer heutigen Form – ein fester Bestandteil des Ingenieurholzbaus[604]. In Baukonstruktionslehrbüchern des ausgehenden 20. Jahrhunderts werden zimmermannsmässige Holzverbindungen gegenüber den Stahlverbindern gemeinhin als technisch überholt und ökonomisch unvertretbar betrachtet[605]. Die Stahlverbindungen lassen sich grob einteilen in:

Nägel
Die erste maschinelle Herstellung von Nägeln aus Stahlstreifen wurde 1794 von Josiah Pierson in New York patentiert. Die Nagelköpfe wurden noch handgeschmiedet, bis in Boston 1807 durch Jesse Reed (1778–1867) ein Verfahren entstand, auch diese maschinell herzustellen. Der Nagel wurde zum Massenprodukt. Allein in Frankreich wurden in den Jahren 1822–1854 mehr als 40 Erfindungspatente für Drahtstiftmaschinen erteilt[606]. Bedingt durch die verbesserte Herstellung und den Konkurenzkampf sanken die Nagelpreise pro Pfund in den USA zwischen 1830 und 1890 von 6 Cent auf 2 Cent[607], so dass ein äusserst preiswertes Verbindungsmittel vorlag, dass vor allem den amerikanischen Holzbau beeinflusste.

Bolzen
Bolzen wurden ebenfalls schon früh in geschmiedeter Form eingesetzt, konnten aber erst durch die industrielle Fertigung (im Drahtziehverfahren ähnlich dem Nagel) zu einem universelle Verbindungsmittel im Ingenieurholzbau werden. Während ein Nagel seinen Halt allein durch die Lochreibung erreicht, übt der Bolzen beim Anziehen der Verbindung zusätzlichen Druck über die Unterlegscheiben aus[608].

602 Polónyi 1989, S. 241f

603 US National Committee on Wood Utilization 1933, S. 1

604 Holtman 1929, S. 435

605 entsprechende Stellungnahmen beispielsweise bei
Mönck 1993, S. 88, Hommerich 1988, S. 32; Göggel 2000, S. 1; Frick und Knoll 2003, S. 51

606 Karmarsch 1872, S. 425

607 Pfamatter 2005, S. 208; vgl. Bodey 2008, S. 21 für die Preisgestaltung auf dem britischen Markt:
«The price of nails fell sharply with the use of these methods, the more so when imports from Belgium and later Germany began. Harrods sold half-inch (13 mm) tacks for less than a penny a thousand in 1895.»

608 z. B. in Tomlinson 1854, Bd. 1 S. 329f

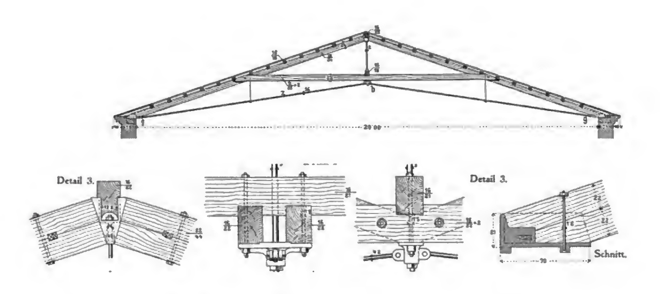


Abb. 81: Hallendach aus Holz in Verbindung mit Eisen (Baudonin 1906, S. 129, Tafel 117)



Abb. 82: Siemens-Bauunion Verbinder für Ingenieurholzbau (US National Committee on Wood Utilization 1933, S. 25)



Abb. 83: Teile des Siemens-Bauunion Verbinders (US National Committee on Wood Utilization 1933, S. 28)

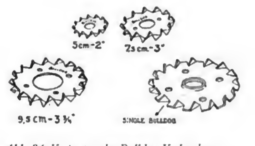


Abb. 84: Varianten des Bulldog-Verbinders (US National Committee on Wood Utilization 1933, S. 39)

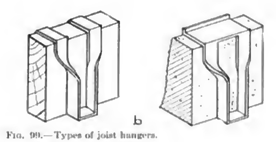


Abb. 85: Balkenschuhe (Holtman 1929, S. 435)

Dübel

Bei den Holzdübeln unterscheidet man zwischen Einlass- und Einpressdübel. Einlassdübel sind bei der Verbindung von Holzbauteilen verwendete Dübel, die in gefräste Vertiefungen passgenau eingelegt werden. Der früheste solche Einlassdübel wird Emy in Frankreich 1856 zugeschrieben. 1891 wurde zum ersten Mal ein Zackenblech patentiert, das vor dem Zusammenschrauben direkt zwischen die Hölzer gelegt und eingepresst wird, ohne dass dafür eine Vertiefung gefräst werden muss. Stellvertretend soll an dieser Stelle der ‹Bulldog-Dübel› genannt werden. Der Bulldog-Dübel besteht aus einem kreisförmigen Blech, aus dem beim Ausstanzen wechselseitig einzelne Zacken nach aussen gebogen werden und ist bis heute unverändert in Gebrauch[609].

Stahlblech-Verbinder

Die jüngste und neben den Bolzen einflussreichste und grösste Gruppe der Holzverbinder sind Produkte aus gewalzten Stahlblechen wie Nagelbleche, Hakenplatten, Winkelbleche und Balkenschuhe. Obwohl diese Produkte heute im Ingenieurholzbau wegen ihrer günstigen Herstellung, schnellen Verarbeitung und vielfältigen Anwendung omnipräsent sind, ist wenig über ihre Enstehungsgeschichte publiziert. Die technische Grundlage der Stahlblech-Verbinder, die Umformung von Eisen zu Blech mit Walzen, entwickelt sich in England seit den 1820er Jahren[610]. Kleine Risse und Schlackenreste, die bei gröberen Produkten wie Eisenbahnschienen kaum ins Gewicht fielen, behinderten lange die Produktion hochwertiger, dünner Bleche[611]. Erst um 1900 scheint die Qualität ausreichend zu sein, denn zu diesem Zeitpunkt werden zahlreiche Erfindungen aus der Bauteilgruppe Stahlblech-Verbinder patentiert[612].

4.2.3 Exkurs: Der Balloon Frame und die Besiedlung des Mittleren Westens

Die Geschichte des ‹Balloon Frame› und ‹Western Frame› (auch ‹Platform Frame›)[613] ist die Geschichte des rasanten Wachstums der Stadt Chicago und der Besiedlung des ‹Mittleren Westens› der USA ab 1830[614]. Eine Konstruktion, die solches leisten konnte, hatte es bislang

609 patentiert nach US National Committee on Wood Utilization 1933 im Jahr 1920 auf den Norweger Ole Theodorsen

610 Paulinyi 1991b, S. 402; Karmarsch 1872, S. 318ff

611 Paulinyi 1991b, S. 409

612 Google Patent Search http://www.google.com/patents;
Suchbegriffe ‹Joist Hanger› (Balkenschuh), ‹Nailed Sheet Metal› (Nagelblech)

613 Holtman 1929, S. 230ff; Hanseroth 1984, S. 19–43

614 Solon Robinson in der New York Tribune, 18. Januar 1855, zitiert in Woodward 1865, S. 151:
«If it had not been for the knowledge of the balloon-frame, Chicago and San Francisco could never have been arisen, as they did, from little villages to great cities in a single year.»
Giedion 1941, S. 269ff nennt (gestützt auf zeitgenössische Quellen) als Erfinder George Washington Snow (1797–1870).
Einen überarbeiteten Forschungsstand zur ersten Anwendung des Balloon Frame präsentiert Sprague 1981

nicht gegeben[615]. Zwei Beispiele sollen dies illustrieren. So heisst es, dass dank der Sägewerke von Chicago 1876 die mehrere hundert Kilometer entfernte Stadt Cheyenne in Wyoming mit etwa 3000 Balloon Frame Häusern in nur drei Monaten errichtet werden konnte[616]. Vier Wochen nach dem ‹Oklahoma Land Run›, der Freigabe eines Indianerreservats zur Besiedlung 1889[617], war Oklahoma City eine Stadt aus minimalen Einraum-Häusern. Ein Jahr später hatte diese Stadt bereits flächendeckende Gestalt angenommen und verfügte über sämtliche öffentliche Einrichtungen[618].
Balloon Frame und Western Frame sind das konstruktive Pendant zur Maschinen-Werkzeug-Technik des 19. Jahrhunderts. Wenn wir uns an den Exkurs zum ‹Schweizerstil› erinnern, der sich zwar maschineller Schnittholzfertigung bedient, aber in seinen gestaltprägenden Merkmalen vom handwerklichen Können eines Arbeiters an der Decoupiersäge abhängt, tritt die konsequente Anwendung von Maschinen-Werkzeug-Technik bei Balloon und Western Frame umso deutlicher hervor[619]. Beide Konstruktionen bestehen aus standardisierten Latten, deren Profile sich aus einem Grundmodul von ‹two by four inches› ableiteten. Diese Profile bilden – zusätzlich mit horizontalen Riegeln verstärkt – einen Rahmen, der zur Aussteifung nach dem Aufrichten des Skeletts beidseitig mit einer Vollholzschalung beplankt wird[620]. Der Vorfertigungsgrad ist also vergleichsweise gering.

615 Vorfabrizierte Konstruktionen hatte es bereits mehrfach vor dem Balloon Frame gegeben, jedoch nicht annähernd in diesem Ausmass der Anwendung vgl: Herbert 1978, S. 5:
«The earliest settlement of New South Wales had involved several instances of prefabrication, including a timber-framed hospital, probably one of twelche ‹moveable Hospitals each 83 ft. long & 12 ft. wide ... so contrived as not to require artificers of any kind to fix them up or take them down – not even a hammer will be necessary,› that Samuel Wyatt built in 1787 ‹for his Majesty's distant possessions.›»

616 M. Ragon: Histoire Mondiale de l'Architecture et de l'Urbanisme, Bd. 1, o.O., 1971, S. 136,
zitiert nach Junghanns 1994, S. 15

617 Der ‹Oklahoma Land Run› (auch ‹Oklahoma Land Rush›) führte am 22. April 1889 zur Besiedlung des letzten Indianerterritoriums (Indianerschutzgebiets) der USA im Westen des heutigen US-Bundesstaates Oklahoma durch angloamerikanische Siedler. Der Oklahoma Land Run gilt als einer der historischen Eckpunkte, die symbolisch das Ende der US-amerikanischen Pionierzeit – des Wilden Westens – markieren. Am Vormittag des 22. April versammelten sich Tausende der neuen Siedler im heutigen Kingfisher County an der Grenze zum Cherokee-Outlet. Nach dem Startschuss um 12 Uhr Mittags begann das Wettrennen dieser Kolonisten um ein möglichst gutes Stück Land in diesem Gebiet. Sozusagen über Nacht wurde dabei die spätere Hauptstadt des Bundesstaates Oklahoma City errichtet.

618 Pfamatter 2005, S. 208

619 Giedion 1941, S. 271
«The balloon frame marks the point at which industrialization began to penetrate housing.»

620 nach Holtman 1929, S. 231ff
Beim Balloon Frame laufen die Ständer über zwei Geschosse vertikal durch, während die Geschossdecken in der Mitte des Ständers angehängt werden (zweigeschossiger Rahmen). Dadurch kann der Balloon Frame wesentlich schneller errichtet werden und ist so die wirtschaftlichste Bauweise.
Der Western Frame dagegen ist ein geschosshoher Rahmen, auf den die Träger der Decken aufgelegt werden (eingeschossiger Rahmen). Bei dieser geschossweisen Aufbau wird gelegentlich auch als ‹platform frame› bezeichnet, da der Boden des Erdgeschosses wie eine Plattform auf dem Fundament liegt, gleichermassen liegt die Zwischendecke auf den Wänden des Erdgeschosses auf und kann so als Arbeitsbühne und Gerüst genutzt werden.
Eine Frühform des amerikanischen Holzbau, die als Abwandlung des europäischen Fachwerks in den Neuengland-Kolonien Anwendung fand, ist der Braced Frame. Wie der Western Frame wird er geschossweise aufgebaut, unterscheidet sich von diesem aber durch die durchlaufenden Eckprofile und handwerkliche Holzverbindungen.

Zwischen den Pfosten sitzen standardisierte Türen und Fenster. Die Rahmen können am Boden montiert und von zwei Arbeitern manuell aufgerichtet werden. Die Beschränkung auf das Vielfache eines einzigen Profilmoduls für Wand und Deckenkonstruktion macht eine logistische Vorbereitung sehr einfach. Der Entwurf richtet sich dabei nach den üblichen Bauteillängen der Sägewerke[621]. Dank der maschinellen Verarbeitung des Schnittholzes ist es möglich, diese Rahmen annähernd identisch herzustellen (Austauschbarkeit), dank der Produktionsgeschwindikeit in den dampfbetriebenen Sägewerken steht das Material in nahezu unbegrenztem Umfang zur Verfügung und dank der durchweg genagelten Verbindungen mit Drahtnägeln entfällt das Anfertigen handwerklich anspruchsvoller und zeitlich aufwändiger Verbindungen mit Loch und Zapfen. Dies kam den Siedlern aus drei Gründen entgegen: Erstens erlaubten die kleinen Holzprofile keine weitere Querschnittsschwächung[622]. Zweitens wurde so bautechnisch zwar kein Holz, aber sehr viel Arbeitszeit eingespart, was die Konstruktion günstiger und der nomadischen Beweglichkeit angemessener machte als eine Fachwerkkonstruktion[623]. Und drittens wurden qualifizierte Zimmerleute, die eine handwerkliche Holzverbindung ausführen konnten, um so rarer, je weiter die Siedler westwärts zogen[624]. Der Ersatz des gelernten Zimmermanns durch den ungelernten Arbeiter, der hier seinen Anfang nimmt[625], hat also zunächst weniger mit den Organisationsformen industrieller Betriebe als mit der Erschliessung eines Kontinents zu tun.

Die deutsche Übersetzung dieser Konstruktionen ist unentschieden: In den 1930er Jahren sprach man in Deutschland vom ‹Holzgerippebau› sowohl für das amerikanische Vorbild als auch dessen deutsche Interpretation[626]. Heute schwankt man zwischen einer direkten Übersetzung als ‹Holzrahmenbau›[627] und dem Begriff ‹Ständerbau›[628], der die amerikanischen

---

621 Holtman 1929, S. 233

622 Holtman 1929, S. 239 und S. 427, Junghanns 1994, S. 15

623 Woodward 1865, S. 166:
«In large buildings, there is no saving in timber, only the substitution of small sizes for large – the great saving is in the labor, which is quite important.»
Woodward 1865, S. 166:
«[…] the Balloon Frame can be put up for forty per cent. less money than the mortise and tenon frame.»
Neutra 1930, S. 133:
«Es entspricht vielmehr in der Geschwindigkeit seiner Errichtung, Veränderung und Abtragung, in der Leichtigkeit seiner Gründung der nomadischen Beweglichkeit nordamerikanischer Umstände. Tragendes Mauerwerk scheint in solcher Umgebung wie ausländisch […].»

624 Woodward 1865, S. 152:
«Its simple, effective and economical manner of construction, has very materially aided the rapid settlement of the West, and placed the art of building, to a great extent, within the control of the pioneer. That necessity, which must do without the aid of the mechanic or the knowledge of his skill, has developed a principle in construction that has sufficient merit to warrant its use by all who wish to erect in a cheap and substantial manner any class of wooden buildings.»

625 Woodward 1865, S. 154f:
«A man and boy can now attain the same results, with ease, that twenty men could on an old-fashioned frame.»

626 Siedler 1932, S. 64

627 vgl. Pfamatter 2005, S. 208f

628 vgl. Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. 2001, S. 40; Kolb 2007, S. 60f; Deplazes 2005
Man kann nicht behaupten, dass die Bezeichnung ‹Ständerbau› eindeutiger wäre, denn auch im Fachwerk gibt es einen ‹Stan-

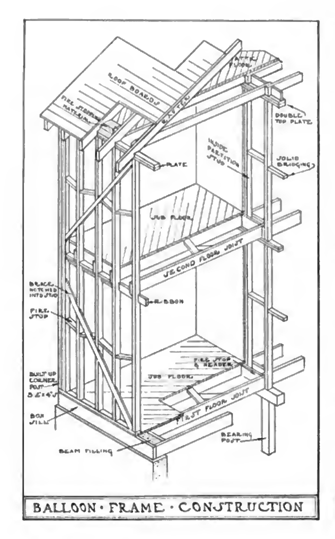


Abb. 86: Balloon Frame (Holtman 1929, S. 233)

Abb. 87: Western Frame · Platform Frame (Holtman 1929, S. 237)

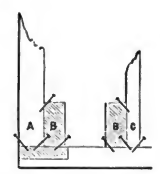


Abb. 88: Genagelte Verbindungen am Fusspunkt, Vertikalschnitt. A – corner stud 4 × 4", B – joint 3 × 8", C – stud 2 × 4" (Woodward 1863, S. 155)



Abb. 89: Balloon Frame 1889, die ersten Präriehäuser für 10.000 Siedler in Oklahoma City vier Wochen nach Stadtgründung (Pfamatter 2005, S. 209)

Abb. 90: Platform-Frame 2008 in Henderson, Nevada, 25km entfernt vom Zentrum von Las Vegas. Gut zu erkennen die vorgefertigten Wandelemente, die erst auf der Baustelle beplankt werden. (Ausschnitt aus MacLean 2008, S. 293)

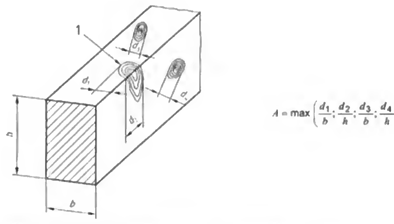


Abb. 91: DIN 4074-5, Sortiermerkmale von Laubschnittholz, 5.1.2.2:
«Die Ästigkeit A berechnet sich aus dem nach 5.1.2.1 bestimmten Durchmesser d, geteilt durch das Mass b bzw. h der zugehörigen Querschnittsseite.»

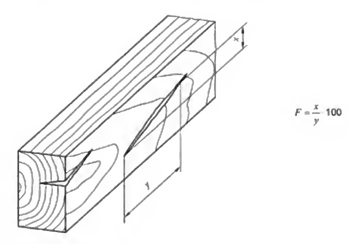


Abb. 92: DIN 4074-5, 5.2:
«Die Faserneigung F wird berechnet als Abweichung x der Fasern bezogen auf die Messlänge y und als Prozentsatz angegeben.»

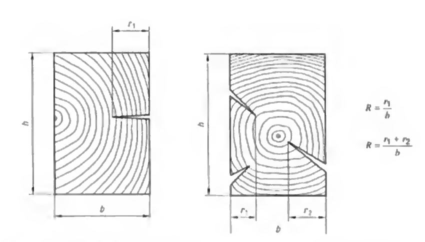


Abb. 93: DIN 4074-5, 5.5.2.2:
«Das Sortiermerkmal R berechnet sich aus der Summe der in einem Querschnitt vorhandenen nach 5.5.2.1 bestimmten Risstiefen r_i geteilt durch das Mass der betreffenden Querschnittsseite.»

Konstruktionen vom europäischen Holzrahmenbau mit höherem Vorfertigungsgrad abgrenzen soll. Eine eindeutige Beschreibung scheint mir ausschliesslich mit den englischen Begriffen möglich.

4.2.4 Homogenisierung der Konsistenz: Plattenförmige Holzwerkstoffe

Mit einer Vereinheitlichung der Abmessungen war der Werkstoff Holz noch lange nicht standardisiert: Seine gewachsene, organische Konsistenz voller Unwägbarkeiten stellte an die maschinellen Fertigungsprozesse Herausforderungen, die man von der Metallverarbeitung nicht kannte[629]. Die visuelle Sortierung von Schnittholz in Festigkeitsklassen nach Kriterien wie Ästigkeit, Faserneigung, Schwindrisse und Verfärbungen gestaltet sich extrem kompliziert und ist in ihren Aussagen begrenzt. Eine maschinelle Schnittholzsortierung sollte nicht vor Ende der 1970er Jahre in nennenswertem Umfang zur Anwendung kommen können, so dass eine Integration der individuellen Eigenschaften des Vollholzes in die mechanische Holzbearbeitung vorerst Zukunftsmusik war[630]. Das Prinzip des ‹Austauschbau› bedingt aber nicht nur übereinstimmende Abmessungen, sondern auch eine Übereinstimmung aller anderen technischen Eigenschaften. Alle Eigenschaften im Organismus des Baumes, die sich einer Klassifizierung entgegenstellten, wurden als ‹Holzfehler› bezeichnet – obwohl sie dies im System des lebenden Baumes keineswegs sind.

derbau› (vgl. Thinius-Hüser 1998, S. 129ff), der sich im Gegensatz zum Stockwerkbau durch die über mehrere Geschosse durchlaufenden Ständer auszeichnet. Überträgt man diese Unterscheidung auf die amerikanischen Holzbau-Konstruktionen, wäre nur der Balloon Frame als Ständerbau zu bezeichnen; auf den heute die den amerikanischen Wohnbau-Sektor dominierenden Platform-Frame-Konstruktionen trifft sie nicht zu.
Im Englischen sind Konstruktionsbezeichnungen nur lose abgegrenzt. ‹Timber framing› entspricht etwa dem deutschen Fachwerk, während unter ‹Wood framing› (auch ‹Wood-frame›, vgl. Kersik und Lio 1997, oder ‹Stick framing›) sowohl Platform- und Balloon Frame als auch die vorgefertigten Konstruktionen verstanden werden, die man im Deutschen als Holzrahmenbau zusammenfasst. Die englische Differenzierung bezieht sich also nicht auf die Konstruktion, sondern auf die Dimensionierung des Profils.

629 Louw 1993, S. 27:
«As late as 1875 – eight decades since Bentham and Brunel had secured a place for mechanised woodwork as one of the great engineering challenges of the century – the industry was still regarded in professional circles as being in its infancy. [...] Unlike metal with predictable properties that lend it readily to systematic standardisation and refinement of the manufacturing processes as well as the machinery, wood was an organic material whose variable composition placed unique operational demands on the equipment. The extreme fragility of some of the end products and the unusually high operational speed of the machines in practice caused complications of an order unknown in metal processing.»
Pahlitzsch 1939, S. 237:
«Selbstverständlich ist man bei den Werkzeugmaschinen der Metallbearbeitung hinsichtlich der Masshaltigkeit der Erzeugnisse an viel engere Toleranzen gewöhnt. Dass man diese bei der Holzbearbeitung nicht erreichen kann, liegt aber nicht etwa an der Unzulänglichkeit der verwendeten Maschinen, sondern allein an der Eigenart des Werkstoffes Holz. Es ist nicht zuviel behauptet, wenn man sagt, dass es ebenso schwer ist, bei der Holzbearbeitung eine Genauigkeit von $\approx 100\,\mu$ zu erreichen wie bei der Metallbearbeitung eine solche von $\approx 10\,\mu$.»

630 vgl. z.B. Glos und Schulz 1980, S. 409f
«Die derzeit in der Bundesrepublik Deutschland vorgeschriebene visuelle Festigkeitssortierung von Nadelschnittholz ist in der Praxis wegen ihrer Kompliziertheit kaum anwendbar. Dennoch wird allgemein unterstellt, daß man nach DIN 4074 sortiert.»
Maschinelle Verfahren zur Schnittholzsortierung werden erst ab den 1980er Jahren entwickelt, vgl. Kolb und Gruber 1981

Auf das Holz bezogen bedeutete dies eine Auseinandersetzung mit einer Homogenisierung des Werkstoffs. Es ging darum, das Vollholz in verschieden grosse Bestandteile aufzulösen, die mit einem Bindemittel wieder zu einem neuen, die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile ausgleichenden Werkstoff gefügt wurden, der nach aussen als Körper mit homogenen Eigenschaften erscheint: dem Holzwerkstoff. Je nach Art der Bestandteile unterscheidet man zwischen gesägten (Stäbe, Bretter), geschälten (Furniere), zerspanten (Holzwolle, Späne) und zerfaserten Holzwerkstoffen[631]. Die ‹Holzfehler› beeinflussen die Qualität des Holzwerkstoffs dabei nur noch in ästhetischer Hinsicht. Länge, Breite und Höhe des Bauteils sind beinahe beliebig den Bedürfnissen anpassbar, so dass nun nicht mehr nur stab-, sondern auch plattenförmige Geometrien herstellbar sind.
An der mechanischen Zerkleinerung des Holzes lag es sicher nicht, dass sich die Entwicklung von Holzwerkstoffen bis weit ins 20. Jahrhundert hinzog. Der Einsatz früher Holzwerkstoffe wie Sperrholz und Furnieren war jedoch allein auf Innenanwendungen beschränkt, denn es fehlte an einem wasserfesten und pilzresistenten Leim. Daher mussten bis Mitte der 1930er Jahre selbst Anwendungen im Innenbereich durch eine Schutzschicht (Firnis, Emaillelack oder Farbanstrich) vor Feuchtigkeit geschützt werden[632]. Alle damals bekannten Leime wurden auf pflanzlicher und vor allem tierischer Basis hergestellt[633]. Über die Frage, welcher dieser Leime noch am ehesten gegen Feuchtigkeit resistent ist, herrscht keine Einigkeit – für die einen ist es Leim aus getrocknetem Blut (Blutalbuminleim)[634], für die anderen Leim aus Kuhmilch (Kasein-Leim)[635]; letzterer kam auch bei den gekrümmten Brettschichtholz-Trägern Otto Hetzers ab 1906 zur Anwendung[636].
Der Siegeszug der Klebstoffe ist ein Siegeszug der Chemiker und eng verbunden mit der Entwicklung makromolekularer Verbindungen (Polymere). Obwohl das erste Patent über einen säurehärtenden Klebstoff auf der Basis von Phenol und Formaldehyd aus dem Jahr 1907

---

631 vgl. Wagenführ und Scholz 2008. S. 130

632 Cohn-Wegner 1930, S. 21 und Stolper 1933, S. 15.

633 Holtman 1929, S. 409 unterscheidet fünf Klassen von Holzleimen, alle auf pflanzlicher und tierischer Basis:
— «Animal glue produced in dry form, to be mixed with water and melted
— Casein glue, commonly sold in prepared form, requiring only the addition of water
— Vegetable glue derived from starches. These are mixed with cold water and alkalies, although heat is commonly used in their preparation.
— Blood-albumin glues, which must be mixed from the separate ingredients just before use, since they detoriate rapidly
— Liquid glues made from heads, skins, bones, and bladders of fish, which come in prepared for immediate use.»
Monroy 1929, S. 246f unterscheidet weitgehend übereinstimmend vier Klassen:
— Leder- oder Knochenleim
— Kasein-Leim
— Blutalbumin
— Sonstige Bindemittel (Pflanzen- und Fischleim)

634 Cohn-Wegner 1930. S. 237ff. nach Holtman 1929 S. 410 ausschliesslich zur Verklebung von Sperrholz

635 Monroy 1929, S. 247
Casein oder Kasein (lat. caseus = Käse) ist ein grobflockig gerinnendes Protein (Eiweiß) und die wichtigste Eiweissart der Milch der Wiederkäuer. Casein ist das Strukturprotein der Milch und daher der Hauptbestandteil von Quark (Topfen) und Käse, die durch Gerinnung des Caseins ihre feste Konsistenz erhalten.

636 Muller 2000, S. 34

stammt[637], gelang es erst 1930 der Firma Th. Goldschmidt, einen trockenen Kunstharz-Klebfilm namens ‹Tegofilm FZ› in industriellem, für das Bauwesen relevanten Masstab herzustellen[638]. Kurz darauf kamen 1931 Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe von I.G. Farben auf den Markt, die bis heute wegen der preisgünstigen Herstellung der chemischen Ausgangsprodukte und ihrer guten Härte- und Klebeigenschaften die wichtigsten Klebstoffe zur Herstellung von Holzwerkstoffen sind[639]. Die Produktion wasserfester Holzwerkstoffe liess nicht lange auf sich warten. Albert Bemis stellt 1933 fest: «Quite recently the development of improved glues, for example synthetic resins, has resulted in new plywoods that are said to have enduring structural strength and lasting moisture resistance.»[640]
Dies war der Startschuss für eine «revolutionäre Veränderung der Produktionsprozesse»[641]. Joachim Radkau schreibt: «Strebte das alte Handwerk nach Verwendung von möglichst gutem Holz, so wurde jetzt die Verwertung von ‹Holzabfällen› (Restholz) zum dynamischen Sektor der Holzbranche.»[642] Auf die Erfindung der wasserfesten Verleimung folgte in den kommenden drei Jahrzehnten in kurzer Zeit eine Welle von Entwicklungen verschiedenster Holzwerkstoffe, ab den 1940er Jahren vornehmlich in den USA. Für die Hersteller bedeutete dies nicht nur die Erschliessung neuer Märkte, sondern auch Investitionen in industrielle Produktionsanlagen, deren Umfang weit über die Schnittholzproduktion hinaus ging[643].

Sperrholz

Die Spuren der mechanischen Produktion von Sperrholz[644] weisen nach Ägypten, wo Holzprodukte vor mehreren tausend Jahren aus kreuzweise verklebten Sägefurnieren hergestellt wurden. Um 1834 entwickelt Charles Picot in Frankreich eine automatische Furniermessermaschine, die erstmals eine wirtschaftliche industrielle Furnierherstellung ermöglichte. 1890 wird ebenfalls in Frankreich eine Rotationsschälmaschine patentiert, bei der der Stamm um die eigene Achse gegen einen Messerbalken rotierte und so die Herstellung von Furnieren

637 entwickelt von dem belgisch-amerikanischen Chemiker Leo Hendrik Baekeland (1863–1944)

638 Cohn-Wegner 1930, S. 257ff

639 Zeppenfeld und Grunwald 2005, S. 123, dazu auch Zeppenfeld und Grunwald 2005, S. 1ff:
Der erste säurehaltige Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff «zum Verleimen von Holz, insbesondere von Sperr- und Furnierholz» gilt mit dem Patent von K. Vierling, M. Schmihing und H. Klingenberg 1929 als erfunden. Müller 2000 S. 36 schreibt dem Harnstoff-Formaldehyd «nur eine geringe Fugenbeständigkeit», wie sie sich nur für Furniere eignet

640 Bemis 1933, S. 195 (Stolper 1933 – aus dem gleichen Jahr – erwähnt die wasserfeste Verklebung noch nicht)

641 Zeppenfeld und Grunwald 2005, S. 2

642 Radkau 2007, S.244

643 Radkau 2007, S.243:
«Reichte für Bretter ein Sägegatter und die Lufttrocknung im Stapel aus, so sind für Spanplatten grosse Industrieanlagen mit Hackern, Zerspanern, Trocknern, Sichtern, Beleimungs- und Streustationen, Heisspressen, Schleifstrassen und Aufteilaggregaten in einem weitgehend selbsttätig gesteuerten Prozessablauf erforderlich.»

644 vgl. DIN EN 313-2 : 1999:
«2.1 Sperrholz. Holzwerkstoff aus einem Verbund miteinander verklebter Lagen, wobei die Faserrichtungen aufeinanderfolgender Lagen meistens rechtwinklig zueinander verlaufen.»

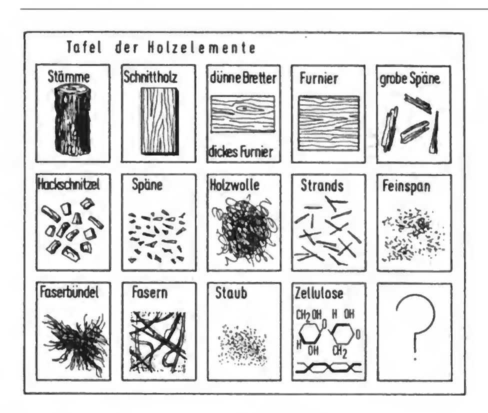


Abb. 94: Strukturelemente von Holzwerkstoffen nach Marra 1972, zitiert in Wagenführ und Scholz 2008, S. 128

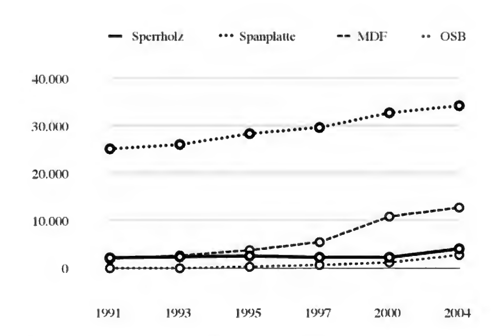


Abb. 95: Produktion von Holzwerkstoffen in Europa in 1.000 m³ (graphische Umsetzung nach Angaben in Wagenführ und Scholz 2008, S. 249)

nahezu jeden Ausmasses ermöglichte[645]. Erst die Rotationsschälmaschine ermöglichte eine ausreichend hohe und wirtschaftliche Produktion von Furnierblättern für die Sperrholzherstellung. Um das Holz geschmeidig zu machen, werden die Stämme vor dem Schneiden vollständig gekocht oder gedämpft.

Spanplatte

Alle anderen Holzwerkstoffe sind Produkte des 20. Jahrhunderts, da sie mehr als das Sperrholz von der Verfahrenstechnik abhängen. Die Spanplatte[646] sollte dem Zweck dienen, Holzabfälle nutzbar zu machen und so den Verwertungsgrad von Bäumen zu steigern, der vor ihrer Entwicklung etwa 40 Prozent betrug. Die ersten Fabriken zur Spanplattenproduktion wurden 1935 bei Farley & Loetscher in den USA und 1941 in den Torfit-Werken in Deutschland in Betrieb genommen[647]. In der Pionierphase der Spanplattenindustrie von 1950 bis 1960 stieg die Produktionsmenge von 12.000 m^3 1950 bis auf knapp 1.000.000 m^3 am Ende des Jahrzehnts. Die grösste Expansionskraft hatte die Branche zwischen 1960 und 1970 mit jährlich steigenden Produktionsmengen von durchschnittlich 15 %[648].

Medium Density Fiberboard (MDF)

Ab 1945 begann in den USA die Plywood Research Foundation im Auftrag der Douglas Fir Plywood Ass. die Entwicklung der ‹Mitteldichten Faserplatte› (MDF)[649], die sowohl ein Substitutions- als auch Ergänzungsprodukt zur Spanplatte darstellt. Die ersten Anlagen zur Produktion von MDF entstanden 1965 in den USA[650]. Während bei der Spanplatte das Holz zu Partikeln zerkleinert wird, erfolgt der Holzaufschluss bei MDF ähnlich wie bei Papier mit Dampfeinsatz. Durch das feine und homogene Material ist die Oberfläche direkt streichbar oder auch ohne Veredelung einsetzbar. MDF ist die bisher konsequenteste Umsetzung des Austauschbaus unter den Holzwerkstoffen.

---

645 Cerliani und Baggenstos 1997, S. 62 und Cohn-Wegner, S. 64ff

646 vgl. DIN EN 309 : 1992-07:
«2. Spanplatte: Plattenförmiger Holzwerkstoff, hergestellt durch Verpressen unter Hitzeeinwirkung von kleinen Teilen aus Holz (z.B. Holzspänen, Hobelspänen, Sägespänen, wafers, strands) und /oder anderen lignozellulosehaltigen Teilchen (z.B. Flachsschäben, Hanfschäben, Bagasse) mit Klebstoff.»

647 Lohmann 2003 Bd.2, S. 395, vgl. auch Verband der deutschen Sperrholz- und Spanplattenindustrie 1970, S. 24

648 Deppe und Ernst 1991, S. 10

649 vgl. DIN EN 316 : 1999-12.
«2.1 Holzfaserplatte: Plattenförmiger Werkstoff, mit einer Nenndicke von 1,5 mm oder grösser, hergestellt aus Lignozellulosefasern unter Anwendung von Druck und/oder Hitze. [...]
3.2.2 Platten nach dem Trockenverfahren (MDF): Diese Faserplatten weisen eine Faserfeuchte von weiniger als 20 % im Stadium der Plattenformung auf und haben eine Dichte von ≥ 450 kg/m³. Diese Platten werden im wesentlichen unter Zusatz eines synthetischen Bindemittels unter Druck und Hitze hergestellt..»

650 Deppe und Ernst 1996, S. 8ff



Abb. 96: Fertigung bei Gunnison, New Albany (Indiana, USA): Zuschnitt der Ständer (Kelly 1951, Abb. 39/2)



Abb. 97: Montage der Panele (Kelly 1951, Abb. 39/3)



Abb. 98: Beschneiden der Kanten (Kelly 1951, Abb. 39/4)



Abb. 99: Oberflächenbehandlung (Kelly 1951, Abb. 39/6)



Abb. 100: Lustron house, two-bedroom model, with garage (Kelly 1951, Abb. 13/1)

Jahr	*total*	*Holz*	*Stahl*	*Aluminium*	*Beton*	*andere*
1935	33, davon	3 (1 Sperrholz)	21	—	8	1 Gips
1938	25, davon	2 Sperrholz	15	?	5	?
1948	130, davon	92 (61 Sperrholz)	13	10	10	?

Tabelle 12: *Wende vom Stahl zum Holz: Bauweisen US-amerikanischer Fertighaushersteller (Angaben aus Kelly 1951, S. 49, 141, 180–183)*

Oriented Strand Boards (OSB)

‹Oriented Strand Boards›[651] wurden aus der Idee heraus entwickelt, eine Spanplatte herzustellen, die ohne extreme Erhöhung der Rohdichte wesentlich bessere Festigkeitswerte erbringt als die bisherigen Produkte und gleichzeitig deren Herstellungskosten unterbieten kann.
OSB-Platten sind ein aus lagenweise ausgerichteten, langen schlanken Spänen dreischichtig aufgebauter und mit Leimharz verklebter Holzwerkstoff. Die OSB Technologie geht auf Armin Elmendorf zurück, der ab 1946 versuchte, durch ausgerichtete ‹Strands› die Festigkeit von zementgebundenen Spanplatten zu steigern[652]. Es dauerte noch bis 1977, bis in den USA erstmalig industriell hergestellte OSB Platten produziert wurden[653].

4.2.5 Exkurs: Holzrahmenbau oder das Haus als Produkt

Die Bauindustrie reagierte sofort auf die neuen Möglichkeiten wasserfest verleimter, plattenförmiger Holzwerkstoffe. Die Antwort bestand aus geschosshohen Holzwerkstoffplatten, auf die die Rahmen des Platform-Frame aufgenagelt und aufgeleimt werden. Die Aussteifung erfolgt nun im Vergleich zum Balloon Frame des 19. Jahrhunderts nicht mehr durch eine Beplankung mit Brettern, sondern durch eine Beplankung mit Plattenwerkstoffen. Die Holzwerkstoffplatte als Basis ermöglicht es, raum- und wandgrosse Elemente in klimatisierten Produktionshallen unter optimalen Arbeitsbedingungen vorzufertigen. Fenster, Türen und Installationsleitungen konnten ebenfalls in der Werkshalle montiert werden. Die Montage auf der Baustelle wurde dadurch erheblich verkürzt.
Der gegenüber Balloon und Platform Frame höhere Vorfertigungsgrad wird im deutschen Sprachgebrauch deutlich hervorgehoben: Konrad Wachsmann (1901–1980) setzt hier die Zäsur zwischen ‹ortsfester Fachwerkbauweise› (wozu er auch Balloon und Platform Frame zählt) und der ‹Tafel- oder Plattenbauweise›[654]. Wachsmanns Begriff ‹Tafelbau› ist dem allgemeineren ‹Holzrahmenbau›[655] gewichen und wird heute wieder im Kontext des Holzmassivbaus angegriffen, auf den ich noch zu sprechen kommen werde. Wachsmann rühmt sich, dass mit dem ab 1941 entwickelten ‹General Panel System› «ein komplettes Haus mit Fenstern, Türen, Schränken, Badezimmer, Küche, elektrischem Licht, Kalt- und Warmwasseranlage und

651 vgl. DIN EN 300 1997-06:
«3.1 Platte aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (OSB): Eine aus langen, schlanken Holzspänen (OSB) mit vorbestimmter Form und Dicke und mit einem Bindemittel gefertigte Mehrschichtplatte. Die Strands in den Aussenschichten sind parallel zur Plattenlänge oder -breite ausgerichtet; die Strands in der Mittelschicht bzw. in den Mittelschichten können zufällig angeordnet sein oder sind im allgemeinen rechtwinklig zu den Strands der Aussenschichten ausgerichtet.»

652 nach Lohmann 2003 Bd.2, S. 140 zeitgleich mit Wilhelm Klauditz in Braunschweig

653 Deppe und Ernst 1991, S. 381

654 Wachsmann 1930, S. 9–29

655 Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V 2001, S. 40; Deplazes 2005, Kolb 2007, S. 60f

Heizung von fünf ungelernten Arbeitern in einem Tag errichtet werden kann»[656].
1951 führt Burnham Kelly am MIT in Zusammenarbeit mit 130 verschiedenen Herstellern eine Bestandsaufnahme des amerikanischen Marktes der Vorfabrikation durch[657]: 1935 werden in den USA von 33 Vorfertigungs-Systemen auf dem Markt 21 aus Stahl, acht aus Beton und nur drei in Holzbauweise (zwei Holzrahmenkonstruktionen und eine mit Sperrholzbeplankung) angeboten (9%). Zum Zeitpunkt der Studie 1947/48 setzten von 130 Unternehmen 92 Holzkonstruktionen ein (71%), davon 61 mit Sperrholzbeplankung (47%). Erstens fällt auf, dass sich die Gesamtanzahl von Fertighausherstellern innerhalb von zwölf Jahren vervierfacht hat. Dies hing mit dem kurzfristig gestiegenen Wohnungsbedarf in Folge der ‹Great Depression› bis kurz nach dem Zweiten Weltkriegs zusammen. Zweitens springt die Wende von der Stahl- zur Holzkonstruktion mit Holzwerkstoffen ins Auge, und zwar zeitlich im Anschluss an die Entdeckung wasserfester Leime.
Für die Abkehr vom Stahl werden einerseits bauphysikalische Gründe angeführt (Wärmedämmung, Kondensatbildung, Korrosion), andererseits waren Stahlsysteme wegen der hohen Anschaffungskosten der Infrastruktur erst ab hohen Stückzahlen wirtschaftlich. Hinzu kommen als externe Faktoren die Weltwirtschaftskrise sowie der Stahlbedarf durch Aufrüstung und den anschliessenden Eintritt in den Zweiten Weltkrieg[658]. Unter den Holzkonstruktionen gibt es solche, bei denen das Sperrholz die Aussteifung übernimmt (‹Wood Frame Panels›[659]) und solche, bei denen die Sperrholzplatte auch Lasten abträgt (‹Stretched Skin Panel›[660]), wie man sie bei den heutigen Holzmassivbau-Konstruktionen findet. In der Tat ist es im Holzrahmenbau «nicht auszumachen, ob er ein Rahmensystem ist, das mit einer angenagelten Haut versteift wird, oder ob er eine Plattenbauweise ist, deren Flächen mit Rippen versteift sind.»[661]
Kelly stellt zudem einen Trend zum Einsatz von Panelen mit grösstmöglichem Format fest[662]. Er folgert weitsichtig, dass Holzwerkstoffe noch weiter an Verbreitung gewinnen können und prophezeit die Entwicklung weiterer Produkte aus Holzfasern[663]. So wie sich die rasante Erschliessung des Mittleren Westens mit dem Holzrahmenbau auf die dampfgetriebene Gattersäge und die Drahtstiftmaschine zurückführen lässt, kann man einen Zusammenhang zwischen den vorgefertigten Holzrahmenbau-Konstruktionen und der Erfindung von Furnierschälmaschine in Verbindung mit Klebstoffen auf Harnstoff-Formaldehyd-Basis herstellen.

656 Wachsmann 1959, S. 154. vgl. die komplette Aufarbeitung des General Panel System inklusive der Gründe für den geschäftlichen Misserfolg in Herbert 1984

657 Kelly 1951, S. 141, S. 175–281

658 Kapfinger 2004, S. 9

659 Kelly 1951, S. 221ff

660 Kelly 1951, S. 227 ff

661 Peters 1994, S. 136

662 Kelly 1951, S. 102

663 Kelly 1951, S. 101

In den Grundrissen bringt der Holzrahmenbau ein einheitliches Raster mit sich, wobei diese Standards nicht firmenübergreifend verbindlich sind wie das 2 × 4 "-Profil des Ballon-Frame. Bauelemente und der gesamte Grundriss sind jeweils ein Vielfaches des jeweiligen Rasters. Betrachtet man aber die Katalog-Fertighäuser in Holzrahmenbauweise und Häuser mit Vorfertigung einzelner Bauteile (Balloon und Platform Frame) als Gesamtheit von ‹Wood-frame›, kann man festhalten, dass mechanisierte Holzbau-Vorfertigung in den USA in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts fast vollständig den nordamerikanischen Wohnbestand bestimmt. Levittown, das urbanistische Symbol für die endlosen Vororte des Nachkriegsamerikas, ist ein Beispiel des Holzrahmenbaus. Ab 1947 baut Abraham Levitt mit seinen Söhnen die nach ihm benannten Levittowns für Kriegsheimkehrer. Die nichtunterkellerte Konstruktion der Gebäude war in 27 Arbeitsschritte unterteilt, die jeweils auf der Baustelle von Spezialisten ausgeführt wurden. 1948 konnte allein Levitt 30 Häuser am Tag fertigstellen[664]. Die in Nordamerika am häufigsten angewandte Konstruktion sind die Holzrahmenbauten geblieben, wobei der Platform Frame den Balloon Frame als wirtschaftlichste Konstruktion abgelöst hat[665]. Die Dominaz des Nagels als Verbindungsmittel bleibt ungebrochen; in einem durchschnittlichen nordamerikanischen Wohnbau kommen 75.000 Verbindungsmittel zum Einsatz, die meisten davon Nägel[666].

Nach Schätzungen werden 2007 bis zu 90% aller freistehenden ein- und zweigeschossigen Wohnhäuser in den USA als ‹Wood-frame› erstellt[667]. Ebenfalls 90% der 3- bis 5-geschossigern Wohngebäude an der Westküste Nordamerikas sind hauptsächlich als ‹Wood-frame› gebaut[668].

664 Kelly 1993

665 Kesik und Lio 1997, S. 57; Affentranger 2001

666 Hoadley 1992 zitiert in Zink-Sharp 2003, S. 205

667 Hanser 2002; Kolb 2007, S. 62 [beide ohne Angabe der Originalquelle]

668 Heikkila 1998, S. 542ff [ohne Angabe der Originalquelle], zitiert auch in Rug und Lissner, 2003

5 Die dritte Welle: Informations-Werkzeug-Technik

Eine Epoche zu verstehen bedeutet, das Wesentliche, aber nicht alles zu verstehen.
Aber es ist sehr schwierig, das Wichtige einer Epoche herauszufinden, da sich die grosse Form nur sehr langsam entfaltet. Die grosse Form kann von Ihnen oder von mir nicht erfunden werden, sondern wir arbeiten an ihr, ohne es zu wissen. Und wenn diese grosse Form ganz verstanden wird, dann ist die Epoche vorbei – dann gibt es etwas Neues.

Ludwig Mies van der Rohe[669]

Die Beschreibung der dritten technikgeschichtlichen Welle im Holzbau gestaltet sich anders als die der ersten beiden Wellen, da die Klarheit, die man als Beobachter durch historische Distanz gewinnt, gerade erst für die Anfänge dieser Welle gegeben zu sein beginnt und wir uns gegenwärtig noch irgendwo auf dieser Welle befinden. Zudem besteht in weitaus geringerem Umfang die Möglichkeit, Argumente durch das Sammeln von Fussnoten mit Referenzen anerkannter Autoren abzustützen.
Wir stehen nun an der Schwelle, an der wir aus der Erinnerung an die Frühgeschichte der Informationstechnik die Fixpunkte für unser ‹kulturelles Gedächtnis› festlegen. Es ist auch das Ende der Lebenszeit der Väter der Informations-Werkzeug-Technik, wie etwa der im Jahr 2007 verstorbenen NC-Pioniere John T. Parsons und Douglas Taylor Ross – welche Rolle wird man ihnen postum in der Geschichtsschreibung einräumen? Begriffe, die heute die anderen beiden Wellen bezeichnen wie ‹hölzernes Zeitalter› oder ‹Maschinenzeitalter›, sind womöglich schon in Umlauf, aber noch nicht durch ständige Wiederholung in Text und Bild gehärtet und dadurch im kulturellen Gedächtnis verankert[670].
Gerade deshalb wird es hilfreich sein, zur besseren Orientierung den Fokus nur auf die Informations-Werkzeug-Technik zu legen, also auf die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück und den damit verbundenen Umsatz von Stoff, Energie und Information. Dabei wird es eine Rolle spielen, wie die Information in der Informations-Werkzeug-Technik strukturell beschaffen ist und worin sich der Umgang mit ihr im Vergleich zur Hand- und Maschinen-Werkzeug-Technik unterscheidet. Die Erzeugung und Optimierung von Information mit ‹Artificial Life›-Methoden, die gegenwärtig im architektonischen Diskurs präsent ist, soll hier dagegen nicht zentrales Thema, sondern allenfalls Bezugspunkt sein.

669 Mies van der Rohe 1968
670 Assmann 1997, S. 50ff

5.1 Numerisch gesteuerte Maschinen in der Holzbearbeitung

Maschinelle Informationsverarbeitung in der Fertigung ist das, worum es in diesem Abschnitt gehen soll. Es wäre schön, für die entsprechenden Maschinen nun einen analogen Begriff zur Informations-Werkzeug-Technik verwenden zu können, wie uns dies in der Hand-Werkzeug-Technik mit dem ‹Handwerkzeug› und in der Maschinen-Werkzeug-Technik mit der ‹Werkzeugmaschine› gelang. Nun ist es aber so, dass der naheliegende Begriff ‹Informationswerkzeug› oft in einem metaphorischen Sinn als Synonym für Software gebraucht wird, also für einen reinen Informationsumsatz. Um nicht noch einen weiteren Begriff einzuführen, werde ich mich deshalb mit dem gängigen Ausdruck der ‹numerisch gesteuerten Maschine›[671] begnügen. Die numerische Steuerung fand erst vor etwa 50 Jahren Eingang in die Holzbearbeitung und ist eigentlich mehr ein Nebenprodukt einer technischen Entwicklung, die ein abstraktes Verständnis von Information voraussetzt und fernab der Fertigungstechnik mit der Idee der Formalisierung im 18. Jahrhundert beginnt.

5.1.1 Die Idee der Formalisierung

Im Europa der Aufklärung im 16. und 17. Jahrhundert wurde die griechisch-römische Tradition des Rechenbrettrechnens mit Rechensteinen durch die orientalische Tradition des schriftlichen Rechnens mit Ziffern verdrängt[672]. Ein Rechnen, welches sich abzählbarer, gegenständlicher Hilfsmittel bediente, wurde ersetzt wurde durch ein rein symbolisches Rechnen, das im Prinzip auch durch einen mechanischen Apparat ausgeführt werden kann. Das Fundament der Mechanisierung mathematischer Operationen ist die Organisierung des Rechnens als Vorgang, der sich ausschliesslich im Medium von Zeichen nach mechanisch anwendbaren Regeln vollzieht. Die Medienwissenschaftlerin Sybille Krämer benennt die Idee des operativen Symbolgebrauchs als Scheitelpunkt der Formalisierung und definiert diesen Punkt mit der Erfindung der Buchstabenalgebra durch François Viète (1540–1603) und dem Aufbau logischer Kalküle durch Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716). Als Kerngedanken hält sie den schematischen, interpretationsfreien Umgang mit schriftlichen Symbolen fest[673]. Frühe Umsetzungen der vier Grundrechenarten in mechanische Apparate sind die Rechenmaschinen 1623 von Wilhelm Schickard (1592–1635), 1643 von Blaise Pascal (1623–1662) und 1673 von Leibniz.

671 üblicherweise abgekürzt mit engl. NC (Numerical Control)

672 Krämer 1988, S. 54

673 Krämer 1988, S. 176

5.1.2 Maschinelle Verarbeitung von Information: Jacquard-Maschine

Während die Kopplung von Kraft- und Arbeitsmaschine mit der Verbindung von Säge und Wasserrad in der Holztechnik im Vergleich zu anderen Produktionszweigen sehr früh einsetzte, erfolgte die für die informations-werkzeug-technische Produktion charakteristische Kopplung von Stoff-, Energie- und Informationsverarbeitung vergleichsweise spät. Die Vorbereitung der dritten Welle fand nicht mit Holzbearbeitungsmaschinen statt.
Sicherlich überträgt auch ein Mechanismus Informationen: Eine Nockenwelle[674] eines Verbrennungsmotors beispielsweise trägt die Information, wann sich die Ventile öffnen und schliessen sollen. Die Nockenwelle ist aber untrennbarer Bestandteil des Mechanismus, die Informationsübertragung nicht variabel. Eine mechanische Spieluhr kann dagegen verschiedene Walzen aufnehmen. In Kapitel 2 habe ich die Informations-Werkzeug-Technik durch den Ersatz formalisierter physischer und intellektueller Leistungen definiert. Die Information ist nicht im Mechanismus der Maschine gespeichert, sondern auf einem veränderbaren oder austauschbaren Medium. Die Vorgänge in der Maschine folgen den in diesem Medium mechanisch gespeicherten Informationen.
Als erste Arbeitsmaschine im Sinne dieser Definition gilt der lochkartengesteuerte Webstuhl des französischen Erfinders Joseph-Marie Jacquard (1752–1834) , die dieser 1804 aus einer zerlegten Versuchsmaschine des Automatenbauers Jacques de Vaucanson (1709–1782) rekonstruierte. Die ‹Jacquard-Maschine› automatisierte mit einer Lochkartensteuerung die Funktionen des sogenannten ‹Harnischs›. Dies war ein kompliziertes Schnüren- und Platinensystem für die variable Wahl der Kettfäden, deren bei jeder Fachbildung unterschiedliche Kombination das Weben von Mustern ermöglichte. Dementsprechend ist die wesentliche Verbesserung Jacquards ein austauschbarer Datenträger, der die Wahl der Kettfäden mechanisierte: Auf hölzernen, aneinandergehängten Lochkarten waren geometrische Weginformationen über das zu webende Muster enthalten, die sich wie bei digitalen Rastergrafiken aus einzelnen Bildpunkten in rasterförmiger Anordnung zusammensetzten. Die Karten wurden im Fertigungsprozess mit Nadeln abgetastet. Wie im heutigen Binärcode gab es genau zwei verschiedene Informationen ohne Abstufungen: ein Loch bedeutete Fadenhebung, kein Loch Fadensenkung. Die Akkumulation dieser beiden Zustände reichte aus, um grossflächige Musterungen beliebiger Vielfalt herzustellen.
Mit der Jacquard-Maschine, die zunächst keine Webmaschine, sondern eine Zusatzeinrichtung für den Handwebstuhl war, konnte der Handweber die Fachbildung mit einem einzigen Fusstritt ausführen, womit sich die Webgeschwindigkeit in der Musterweberei wesentlich erhöhte. Die Webstühle selbst wurden wie auch in der britischen Textilindustrie die ‹Jenny› von James

674 Die Nockenwelle wird daher als bedeutsame technische Voraussetzung für die wirtschaftliche Entwicklung des Mittelalters gesehen. Die Innovation der Nockenwelle ist erstmals belegt bei Stampf- und Walkmühlen auf der Apenninenhalbinsel im Jahr 962, vgl. Ludwig 1994

Hargreaves (1720–1778) mit Muskelkraft bedient. Die umsatzsteigernde Kopplung mit einer Kraftmaschine blieb jedoch nicht lange aus. Mechanische Webstühle mit Dampfantrieb wurden bereits ab 1785 im ‹Power Loom› von Edmond Cartwrigth (1743–1823) eingesetzt. Auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879 wurde ein elektrisch betriebener Webstuhl von Werner von Siemens (1816–1892) vorgestellt[675].
Schon im 18. Jahrhundert war die Kopplung von Informations- und Arbeitsmaschine entscheidend für die Wertschöpfung: So wurden in Lyon Jacquards Webstühle von den Webern öffentlich verbrannt, weil sie ihre Arbeitsplätze gefährdet sahen[676] – ein ähnliches Schicksal hatten bereits die ersten Sägegatter in England erlitten[677].
Die Jacquard-Maschinen gelten vielfach als Vorläufer des Computers[678]; nicht zuletzt, weil sie in den mechanischen Rechenmaschinen Charles Babbages zum Einsatz kamen. Dessen Mitarbeiterin Ada Lovelace (1815–1852) formuliert: «We may say most aptly that the Analytical Engine weaves algebraic patterns just as the Jacquard loom weaves flowers and leaves.»[679]
Insbesondere sind Jacquard-Maschinen aber Vorläufer der NC-Technik, die bis in die 1970er Jahre auf Lochkarten und Lochstreifen gespeicherte Informationen nahezu identisch mechanisch abtastete und mit elektronischen Signalen verarbeitete. Der Mensch ist in diesem Prozess weder als Stoff-, Energie- oder Informationsumsetzer beteiligt, sondern initiiert und kontrolliert den maschinellen Herstellungsprozess. Der Mensch ist Schöpfer des Prozesses, die Maschine ist Schöpfer der Produkte. Unter diesen Gesichtspunkten besteht «kein Wesensunterschied zwischen einem automatischen Webstuhl und einem elektrischen Computer»[680].
Die Ergänzung der Weginformationen mit Schaltinformationen wird jenseits der Fertigungstechnik realisiert, nämlich in dem von Henri Fourneaux 1863 patentierten automatischen Klavier, das später unter dem Namen ‹Pianola› bekannt wurde: Das etwa 30 cm breite Papierband zur Steuerung des Klaviers enthielt nicht nur Informationen über die Auswahl der Tasten, sondern auch über Anschlagstärke und Ablaufgeschwindigkeit des Bandes[681].

675 Tuchel 1967, S. 296

676 Kohl 1873, S. 13

677 vgl. Kapitel 4.1.1 bzw. Powis Bale 1880 S. 5; Busch 1822

678 vgl. Aspray 1990, Essinger 2004

679 zitiert in: Hyman, Anthony. Charles Babbage : pioneer of the computer. Oxford : Oxford University Press, 1982, gefunden in Endrei 1994, S. 39

680 Mumford 1974, S. 539.
«Obgleich man Computer und kybernetische Kontrolle braucht, wenn die gesamte Einheit eine komplexe Anlage ist, besteht doch kein Wesensunterschied zwischen einem automatischen Webstuhl und einem elektrischen Computer. Denn auch dieser braucht den Menschen, der ihn entwirft, programmiert und überwacht.»

681 Kief und Roschawil 2007, S. 29; Noble 1984, S. 148f

5.1.3 Exkurs: Die Anfänge der elektronischen Informationsverarbeitung

Die Situation ist vergleichbar mit der frühen Maschinen-Werkzeug-Technik: Das Prinzip war bereits gefunden, aber es fehlten noch die technischen Innovationen, um dem Prinzip zu seiner Durchschlagskraft zu verhelfen. Wie bereits das Durchsetzen der Maschinen-Werkzeug-Technik als ‹Industrielle Revolution› bezeichnet worden ist, so spricht man bei der massenhaften Anwendung der Innovationen zur Durchsetzung des Prinzips Informations-Werkzeug-Technik von einer ‹elektronischen›, ‹digitalen› oder ‹informationellen Revolution›[682].

Datenverarbeitung: Transistor

Ende der 1930er Jahre begann die praktische Umsetzung der binären Arithmetik in der Elektrotechnik, als deren theoretische Grundlage die Master-Abschlussarbeit des Mathematikers Claude Elwood Shannon (1916–2001) mit dem Titel ‹A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits›[683] von 1936 gilt. In Deutschland experimentierte der Ingenieur Konrad Zuse (1910–1995) mit Rechenmaschinen auf der Basis elektromechanischer Telefonrelais, um die Berechnungen der Flugstatik bei den Henschel-Flugzeugwerken zu automatisieren. 1941 konne Zuse mit dem Modell ‹Z3› in seiner Wohnung einen frei programmierbaren Rechner auf Basis binärer Arithmetik fertigstellen. 1943 folgte in den USA unabhängig davon und ebenfalls mit Relais operierend der erste digitale Grossrechner Mark I unter der Leitung von Howard Hathaway Aiken (1900–1973), der von der US-Marine für ballistische Berechnungen genutzt wurde. John William Mauchly (1907–1980) und John Presper Eckert (1919–1995) bauten mit dem ENIAC[684] ab 1942 einen Universalrechner, der Dank der Repräsentation binärer Zeichen mit Elektronenröhren eine deutlich höhere Rechenleistung aufwies, um den unersättlichen Bedarf der ballistischen Rechenabteilung der US-Streitkräfte besser zu stillen. Sowohl Relais als auch Röhren verlangten grosse und klimatisierte Räume, hatten einen enormem Strombedarf, waren fehleranfällig und in der Summe ihrer Bauteile enorm teuer. Der ENIAC beispielsweise bestand aus 17.468 Elektronenröhren, 1.500 Relais und unzähligen anderen Bauteilen, die sich zu einem Gewicht von 30 t aufsummierten[685]. Zu breiter Integration in Produktionsabläufe eigneten sich diese Rechenmaschinen nicht.

Die physikalische Grundlage für die heutige NC-Technik ist die Halbleitertechnik, die es ermöglicht, viele Schaltungsfolgen in Sekundenbruchteilen auf kleinstem Raum durchzuführen. Der erste funktionierende ‹Transistor› (abgeleitet aus ‹Transfer-Resistor›; etwa ‹leitender Wi-

682 Elektronsische Revolution : Balkhausen 1985; digitale Revolution : Christensen und Tygesen 1995, Tapscott 1996; informationelle Revolution : Ropohl 1999, S. 255; Informationsrevolution : Bode 1997

683 Shannon, Claude Elwood. A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. Masterarbeit, Typoskript. MIT 1936 Der Begriff ‹Bit› als Masseinheit für den Informationsgehalt, der in einer Auswahl aus zwei gleich wahrscheinlichen Möglichkeiten enthalten ist, wurde schriftlich ebenfalls erstmals von Shannon 1948 in dessen Aufsatz ‹A Mathematical Theory of Communication› (Bell System Technical Journal, Band 27, Seiten 379–423 und 623–656, Juli und Oktober 1948) verwendet.

684 Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC)

685 Hagemeyer 1982, S. 438

derstand) wurde ab 1947 von den Physikern William Bradford Shockley (1910–1989), John Bardeen (1908–1991) und Walter F. Brattain (1902–1987) in den Bell Telephone Laboratories entwickelt[686].

Der Physiker Jack St. Clair Kilby (1923–2005) begann 1958 bei Texas Instruments, integrierte Schaltkreise in einen Germanium-‹Mikrochip› einzugiessen. Damit erst waren die Weichen gestellt, Computer so klein und günstig herzustellen, dass sie in Maschinen integriert werden konnten. 1964 wurden auf 0.5 cm^2 Chipfläche 10 Transistoren integriert. 1970 waren es bereits 100, 1975 1.000, 1980 50.000 und 1985 eine Million[687]. Miniaturisierung und Massenfertigung führten zu drastischem Preisverfall und Anwendungen auf breiter Ebene. Komplexe, logisch aufgebaute Prozesse konnten nun kostengünstig automatisiert und einfach steuerbar gemacht werden.

Datenspeicher: Winchester-Festplatte

Eine zweite Voraussetzung für die günstige Produktion kleiner Computer ist die Entwicklung eines kleinen, günstigen und zuverlässigen Speichermediums. Wesentliche Kennzeichen sind die Speicherkapazität, die Datenrate, die Zugriffszeit und schliesslich die Lebensdauer des Speichermediums. Die gegenwärtig vorherrschende Technik ist magnetische Speicherung mittels elektronischer Schreib- und Leseverfahren auf rotierenden, magnetisierbaren Datenträgern. 1956 stellt IBM das erste magnetische Festplattenlaufwerk vor, welches binäre Daten auf die Oberfläche einer rotierenden Scheibe schreiben konnte. 1973 gelang es wiederum IBM mit dem ‹Winchester›-Projekt, das Speichermedium als versiegelte Einheit zu konstruieren. Ab 1980 erreichten die Winchester-Laufwerke, auf die alle heutigen Festplatten zurückzuführen sind, Marktreife. Neil Barrett vermutet, dass das Winchester-Laufwerk für die Umsetzung günstiger kleiner Computer möglicherweise bedeutender sei als der Silizium-Mikroprozessor[688].

686 Kaiser 1992, S. 342 schreibt zur Entwicklung des Transistors bei Bell:
«Eine der wichtigsten Fähigkeiten der in der Entwicklung von Technik handelnden Menschen ist es offenbar, frühzeitig Grenzen bestehender Technik vorauszusehen und Möglichkeiten zu ihrer Überwindung zu erahnen. Das Problem ist dabei oft, dass sich eine solche weit vorausschauende Technik fast zwangsläufig noch in einem sehr unvollkommenen Zustand präsentiert. Im Zweiten Weltkrieg geschah eine ganze Reihe technischer Entwicklungen, die, durchgeführt in einer Zeit, in der die alte Technik fast unangefochten ‹gültig› war, doch längerfristig zur Überwindung bestehender Grenzen führte. Jet- und Raketentriebwerke sind hier auffallende Beispiele, wie kommende Entwicklungen in Luft und Raumfahrt vorweggenommen wurden. Bestechender noch – mit Blick auf die Organisation der grundlegenden Forschung – ist die Entdeckung des Transistoreffekts in den Bell Laboratories.»

687 Kaiser 1992, S. 345

688 Barrett 2006, S. 91

5.1.4 Numerische Steuerung: NC-Maschinen und CNC-Maschinen

Die Entstehungsgeschichte der numerisch gesteuerten Fertigungsmaschine ist eine Geschichte der Militärtechnik, genauer gesagt der Formgebung in der Flugzeugtechnik, aus der bereits Konrad Zuses Z3 entstanden war[689]; im Kontext ballistischer Berechnungen ebenso Norbert Wieners Kybernetik als auch die Digitalrechner Mark I und ENIAC.
Als ‹father of numerical control›[690] gilt der amerikanische Unternehmer John T. Parsons (1913–2007). Seine Firma, Parsons Corporation of Traverse City, der seinerzeit grösste Hersteller von Helikopter-Rotorblättern in den USA, entwickelte ab 1947 die erste numerisch gesteuerte Maschine. Parsons widmete sich der genauen Bestimmung von Kurven. Bei der Herstellung der Rotorblätter wurden Konturen üblicherweise mit nur wenigen Punkten bestimmt, die dazwischenliegenden Punkte wurden anschliessend mit einem Kurvenlineal bestimmt. Mit dem Ansatz, die Geometrie eines aerodynamischen Profils durch Zahlen auszudrücken und diese Zahlen direkt zur Steuerung einer Werkzeugmaschine zu verwenden, versuchte Parsons das Problem der Fertigungstoleranzen dort zu lösen, wo es entstand, nämlich bei der Fertigung selbst. Parsons begann, mit Hilfe eines IBM Computers anstatt der gegebenen 17 Punkte eines Profils nunmehr 200 Punkte zu berechnen und deren Koordinaten manuell in eine Bohrmaschine zu übertragen, die präzise Bohrungen mit einem Abstand von 0.3 mm ausführte und die Toleranz von 0.2 mm auf 0.02 mm senkte. Dieser Anfangserfolg erlaubte Parsons, gemeinsam mit der US Air Force und dem MIT ab 1949 ein Forschungsprojekt zur Verbindung eines Lochkartensystem mit einer Fräswerkzeugsteuerung durch computergesteuerte Servos zu initiieren. Der Anspruch war, den gesamten Bearbeitungsprozess eines Bauteils auf eine formale, abstrakte Beschreibung zu reduzieren, zu kodieren und in binäre Daten zur Aktivierung einer Maschinensteuerung umzusetzen[691].
Das Projekt verselbständigte sich am MIT zu einem aufwändigen Forschungsvorhaben, das wegen der enorm kostenintensiven Infrastruktur über die damalige Praxistauglichkeit hinaus ging. Dies lag vor allem daran, dass das MIT den zwischen 1945 und 1952 als Flugsimulator entwickelten Computer ‹Whirlwind› zur Steuerung einsetzte, um dessen Weiterentwicklung zu rechtfertigen. Mitte 1951 konnte mit einer als NC-Maschine erweiterten Vertikal-Fräsmaschine vom Typ Cincinatti Hydrotel eine erste bahngesteuerte Drei-Achsen-Werkzeugmaschine fertiggestellt und 1952 präsentiert werden[692]. «The first MIT control was a complicated, expensive monstrosity touted as the answer to mass production of complex machine parts for military aircraft.»[693] 1953 wurde die numerische Steuerung im Zusammenschluss des MIT mit

689 vgl. Petzold 1985, S. 291–372

690 Noble 1984, S. 96

691 Spur 1991, 511

692 Kaiser 1992, S. 412f

693 Gene Bylinsky, Here Comes the Second Computer Revolution, in: Fortune, November 1975, S. 135-83 zitiert in: Noble 1984, S. 326

verschiedenen Firmen kommerzialisiert[694]. Eine 1954 vom MIT durchgeführte Wirtschaftsstudie bestätigte, dass wirtschaftliche Nutzenvorteile der NC-Technik wegen des immensen Programmieraufwands von mehreren Personentagen pro Werkstück vorerst nicht nachweisbar waren[695]. «Due to N/C's lack of infancy, ten years of regressive development was required before N/C could make its greatest contribution to industrial productivity. This contribution was a simple, economical control easily adaptable to small machine tools.»[696] Diese Kontrolle ermöglichte die anwendungsbezogene Programmiersprache APT (Automatically Programmed Tools), entwickelt unter der Leitung von Douglas Taylor Ross (1929–2007). Mit ihrer Hilfe konnten ab 1959 die einzelnen Bearbeitungsschritte ohne spezielle Kenntnisse beschrieben und in die auf Lochstreifen ausgegebenen Programme für die numerische Steuerung der Maschine übersetzt werden[697]. Die direkten Nachfahren der APT sind seit Anfang der 1990er Jahre CAM-Systeme mit grafischer Benutzerführung[698].
Für unsere Überlegungen viel interessanter als die CAM-Systeme zur Datenaufbereitung ist die formale Struktur der NC-Programme, in der die geometrischen Weginformationen und technischen Schaltinformationen (Vorschubgeschwindigkeit, Spindeldrehzahl, Steuerung der Spannvorrichtung etc.) an die Maschine übergeben werden. Unabhängig vom Datenträger erfolgte hier seit Anfang der 1960er Jahre eine Standardisierung durch die amerikanische Electronic Industries Alliance (EIA) unter dem RS274-Standard, an den sich 1981 die bis heute kaum überarbeitete DIN 66025 anschloss. Diese vereinheitlichende Sprachregelung wird vielfach als ‹G-Code› bezeichnet, obwohl die geometrischen Wegbedingungen (G-Funktionen; Akkürzung für ‹Go-functions›) neben den technischen Zusatz- oder Schaltfunktionen (M-Funktionen; Abkürzung für ‹Miscellaneous-functions›) nur einen Teil des Codes ausmachen. Auch wenn heute kaum ein Anwender mehr manuell NC-Programme schreibt, sind diese noch immer das genormte Daten-Eingabeformat, dass von den meisten CNC-Fabrikaten unterstützt wird[699]. Wir können feststellen, dass die gegenwärtig verwendete formale Struktur zur Übermittlung von Information an eine NC-Maschine ebenso aus den 1960er Jahren stammt wie das heutige Verständnis der Produktionstechnik[700] und Fertigungstechnik[701] (siehe Kapitel 2.1.1).

694 Spur 1991. S. 516, Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 235

695 Spur 1991, S. 517f

696 John D. Duncan, Tapeless N/C and the Small Job Shop. in: Society of Manufacturing Engineers Paper MS 78/149, The Computer and Automated Systems Association of the Society of Manufacturing Engineers, 1978
zitiert in: Nohle 1984, S. 326

697 Kief 1978, S. 16f; Spur 1991, S. 518f

698 Nach Kief 1987, S. 224 war APT Ende der 1980er Jahre das «am weitesten ausgebaute Sprachsystem für die NC-Programmierung»; nach Kief und Roschiwal 2007 S. 117 lange Zeit die einzige geeignete Programmiersprache für fünfachsige Simultanbewegungen.

699 Kief und Roschiwal 2007, S. 336

700 Dolezalek 1965

701 Kienzle 1966

Der Durchbruch der NC-Technik

Als Gradmesser für die Anwenderakzeptanz der NC-Technik kann die alle fünf Jahre in Chicago stattfindende Werkzeugmaschinen-Ausstellung ‹National Machine Tool Builders Association› dienen: Während 1955 nur wenige Aussteller mit elektronischer Lochstreifensteuerung vertreten waren, zeigen 1960 bereits 35 der insgesamt 152 Aussteller insgesamt 69 numerisch gesteuerte Bohr-, Dreh-, Fräs- und Schleifmaschinen sowie Positionierungstische[702]. Besonders aufsehenserregend war das vollständig numerischen Berarbeitungszentrum ‹Milwaukee Matic II› der Firma Kearney & Trecker. Gesteuert durch Lochstreifen liessen sich aus einem Rundmagazin dreissig verschiedene Bohr- und Fräswerkzeuge auswählen: der automatische Werkzeugwechsler war erfunden[703].

Bei den frühen NC-Maschinen wurden Computer dazu benutzt, Programme für bestimmte Werkstücke unter Berücksichtigung maschinenspezifischer Randbedingungen zu erstellen und diese auf Lochkarten oder Lochstreifen zu speichern[704]. Über mechanische oder photoelektrische Abtastgeräte wurde mit der Information des Lochstreifens die numerische Steuerung der Maschine in Gang gesetzt. Die Verringerung der Rüst- und Nebenzeiten war angesichts der in den 1960er Jahren steigenden Lohnkosten vor allem im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung interessant[705]. Nach anfänglicher Euphorie traten aber auch die Schwächen der NC-Technik zu Tage: Die Maschinen waren trotz ihrer hohen Anschaffungskosten wenig flexibel und zudem störungsanfällig, so dass die Nutzung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen bis in die 1970er Jahre auf Grossunternehmen beschränkt blieb. So gab es 1971 in 95% der US-amerikanischen mittleren und kleineren Unternehmen des Maschinenbaus keine NC-Maschinen[706].

Erst mit der Einführung des Mikroprozessors in der Fertigungstechnik gelang es, auch in die Maschinen selbst Computer zu integrieren. Im Unterschied zur störungsanfälligen NC-Technik bestanden die Vorteile der CNC-Technik in Kontrollfunktionen beispielsweise für Wege und Vorschubgeschwindigkeiten (Kollisionskontrolle) und automatischer Korrektur der Achsenpositionen[707]. Seit 1972 wurden in fast allen Industriebereichen Maschinen mit direkter rechnergestützter numerischer Steuerung eingesetzt[708]. In der Bundesrepublik Deutschland

702 Spur 1991, S. 520

703 Kaiser 1992, S. 415

704 Während eine Lochkarte eine äussert begrenzte Datenmenge speichert, kann ein Lochstreifen theoretisch beliebig lang sein. Vorübergehend wurden für Arbeiten mit hoher Informationsdichte auch Magnetbänder eingesetzt, die im Werkstattbereich wegen ihrer Staubempfindlichkeit allerdings wenig geeignet waren. vgl. Kohring 1966, S. 48f

705 Spur 1991, S. 536

706 Paulinyi 1990b, S. 57

707 Kief 1978, S. 236ff

Nach Kief und Roschiwal 2007 S. 32f trifft die Bezeichnung ‹numerische Steuerung› in zweifacher Hinsicht nicht mehr zu:

- Im Sinn von DIN 19226 handelt es sich nicht um Steuer-, sondern um Regeleinrichtungen.
- Die Geräte interpretieren nicht nur numerische Eingaben, sondern verarbeiten alle Arten von Zeichen

708 vgl. Kief 1978



Abb. 101: Erste universelle Fräsmaschine 1862 (Lilley 1966, S. 153, Tafel XXI)

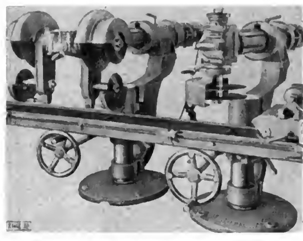


Abb. 102: Anordnung mehrerer Zimmerei- und Abbundmaschinen an einer Zuführrollbahn für die zu bearbeitenden Hölzer, Firma Karl M. Reich (Pahlitzsch 1950, S. 309)

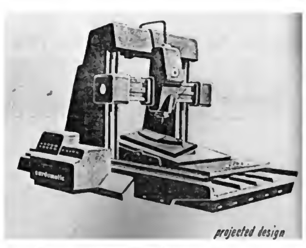


Abb. 103: John T. Parsons Originalentwurf des Cardamatic Milling Systems, 1948 (Noble 1984, S. 108)



Abb. 104: Erste CNC-Abbundmaschine 1984: Firma Burmek, SPL 270-1 (Grau 2002, S. 4)



Abb. 105: 5-Achs Bearbeitungszentrum 2009, Firma Maka, CR 27 TBZ (www.maka.com, Zugang 07.02.2009)



Abb. 106: Vollautomatische Abbundmaschine 2009: Firma Hundegger, K2i (www.hundegger.de, Zugang 07.02.2009)

erreichte der Bestand an CNC-Maschinen 1982 mit 5.500 Stück das zwanzigfache der NC-Maschinen (223 Stück; im Vergleich zu 985 NC-Maschinen im Jahr 1974)[709].

5.1.5 Numerische Steuerung in der Holzbearbeitung

Ab Mitte der 1970er Jahre stieg die Produktion von NC-Holzbearbeitungsmaschinen sprunghaft an[710]. Die Studie zu ‹Holzwirtschaft im Wandel› von Reinhard Jordan zeigt Mitte der 1980er Jahre einen Strukturwandel in den Holzbaubetrieben: 52% der erfassten Betriebe verwenden programmgesteuerte Einzelmaschinen NC und CNC, in 41% sind die Maschinen verkettet und in 30% wird computergestützte Fertigungssteuerung eingesetzt. Die Systeme wurden überwiegend in den Jahren 1982–1984 angeschafft[711].
Heute werden verschiedenste computergestützte Systeme angeboten, darunter Bandsägemaschinen, Bohrmaschinen, Drehmaschinen, Nagelmaschinen und Schleifbearbeitungszentren. Am konsequentesten wird das Konzept der Informations-Werkzeug-Technik von zwei Maschinentypen umgesetzt: Fräsen für plattenförmige Werkstoffe und Abbundmaschinen für stabförmige Werkstoffe. Das Merkmal, das diese beiden Maschinentypen von anderen angebotenen CNC-Maschinen abhebt, ist ihr automatischer Werkzeugwechsler, so dass man beide auch als Bearbeitungszentren bezeichnen hatte.

Fräsen
NC- und CNC-Fräsen in der Holzbearbeitung sind kaum eigene Maschinentypen, sondern vielmehr Anpassungen von Maschinen aus der Metallverarbeitung entsprechend den obigen Ausführungen, ebenso wie die zugehörige CAM-Software. Nur wenige Hersteller von Fräsen haben sich auf Holzverarbeitung spezialisiert.
Für die Holzbearbeitung bedeutet die Entwicklung der NC-Fräse unter anderem, endlich dort technisch anknüpfen zu können, wo man bei der Maschinen-Werkzeug-Technik der fühlergesteuerten Kopierfräsen oder Schnitzmaschinen in den 1920er Jahren nicht mehr weiterkam. Endlich war es möglich, Oberflächenornamente anzufertigen, ohne dass davor eine dreidimensionale Vorlage zum Abtasten erstellt werden musste. Ein digitales Bild oder eine 3D-Oberfläche kann direkt auf ein Material übertragen werden. Es vergingen jedoch noch einmal fast zwei Jahrzehnte, bis der Architekturdiskurs über das fertigungstechnische Erbe der Maschinen-WerkzeugTechnik hinwegkam und das maschinengefertigte Ornament als ‹Digitales

709 Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993, S. 236
710 Beyer 1991, S. 12
711 Jordan [et al.] 1986, S. 85

Ornament›[712] in der Architekturdiskussion ein Revival erleben durfte[713].

Abbundmaschine

Eine Eigenentwicklung der Informations-Werkzeug-Technik in der Holzbearbeitung in den 1980er Jahren ist dagegen die computerunterstützte Abbundmaschine. Die Mechanisierung des Abbunds beginnt vergleichsweise spät nach dem Zweiten Weltkrieg. Gotthold Pahlitzsch (1903–1992) beschreibt 1950 eine ortsfeste Ausführung einer kombinierten Kreissäge- und Fräsmaschine, die – in mehreren Exemplaren längs eines Schienenstrangs angeordnet – «beim Serien-Holzhausbau oder ähnlichen Aufgaben äusserst vorteilhaft eingesetzt werden kann.»[714] Diese Abbundmaschinen mit Maschinen-Werkzeug-Technik wurden von Hand auf Schnittwinkel, Schnitttiefe und Länge eingestellt und konnten dann verhältnismässig schnell viele gleiche Bauteile zuschneiden und fräsen. Eine flexible Fertigung war damit nicht möglich. 1984 konstruierte die schwedische Firma Burmek die erste CNC-gesteuerte Abbundablage für Zimmereien[715]; 1986 baute der Unternehmer Hans Hundegger (*1954) mit dem Modell Hundegger P8 die erste serienmässige Abbundmaschine, von der bis 1992 150 Stück gefertigt wurden. Seit 1999 wird das heute marktdominierende Modell Hundegger K2 hergestellt, von dem nach fünf Jahren bereits 700 Stück verkauft wurden. Seitdem hält Hundegger nach eigenen Angaben einen Weltmarktanteil von über 90 %[716].
Heutige Abbundmaschinen sind vielfältige CNC-Bearbeitungszentren zur Bearbeitung stabförmiger Materialien mit Kreissäge-, Fräs- und Bohraggregaten, um zimmermannsübliche Holzknotenpunkten wie Quer-, Gehrungs- und Schifterschnitten sowie Versätze, Verblattungen und Zapfen herzustellen[717]. Eine Sonderform der Abbundanlagen sind die sogenannten Portalbearbeitungsanlagen (PBA), die die Eigenschaften der Abbundanlage auf Grossformatplatten wie Brettsperrholzelemente ausdehnen. Multifunktionsbrücken für den Elementbau können darüber hinaus noch Klebstoff auftragen, nageln, klammern und schrauben.

---

712 vgl. Loveridge und Strehlke 2005, Loveridge und Strehlke 2006, Strehlke 2008, Gleiter 2008

713 z.B. archithese 02/2004 ‹Neue Ornamente›, db Deutsche Bauzeitung 11/2006 ‹Ornament›

714 Pahlitzsch 1950, S. 308f

715 Grau 2002, S. 4

716 Angaben von www.hundegger.de, Zugang im Februar 2009; vgl. Ryll 1997, S. 44

717 Lohmann 2003 Bd.1, S. 3

5.2 Auswirkungen der Informations-Werkzeug-Technik auf die Holzverarbeitung

Die Umstellung von Maschinen-Werkzeug-Technik auf Informations-Werkzeug-Technik äusserte sich zunächst in Optimierung von Produktion und Logistik bestehender Fertigungstechniken. Wenn man sich aber die Eigenschaften dieser Werkzeuge vor Augen führt, wird deutlich, dass das Potential deutlich darüber hinausgeht. Es treten technische Eigenschaften hinzu, die der Maschinen-Werkzeug-Technik unbekannt sind:

5.2.1 Universalität

Fräsen und Abbundmaschinen sind in überwiegender Mehrheit universelle Maschinen mit einem breiten Einsatzgebiet[718]. Eine NC-Fräse kann mit Fräswerkzeugen, Sägeblättern, Bohrern und verschiedensten Spezialwerkzeugen wie etwa Schwalbenschwanznutfräsern bestückt werden und ist daher genau genommen auch keine Fräse mehr, sondern ein Bearbeitungszentrum. Es ist eine interessante Fussnote, dass unter diesen Werkzeuge die Säge – wie schon in der Hand- und Maschinen-Werkzeug-Technik – als wichtigste Verarbeitungsmethode betrachtet wird, so dass man auch in der digitalen Holzbearbeitung so oft als möglich auf das Sägeblatt zurückgreift[719]. Das maschinelle Spalten hingegen ist eine unbedeutende Randerscheinung für Spezialanwendungen[720].
Die Auswahl des Werkzeugs erfolgt mit einem Werkzeugwechsler. Bei den Abbundmaschinen sind die verschiedenen Werkzeuge in der Regel fest installiert, können aber in beliebiger Reihenfolge eingesetzt werden. Dadurch vereinen beide Typen Maschinen, die in der Maschinen-Werkzeug-Technik voneinander getrennt waren. Manfred Powis Bale beschreibt 1880 zwar sogenannte ‹General Joiners› und ‹Combination Machines›, bei denen sich verschiedene Maschinen wie eine Säge und eine Bohrmaschine eine Maschinenplattform teilen[721]. Samuel Lilley nennt eine automatische Drehbank mit in Reihe geschalteten Werkzeugen, die kurz vor dem Ersten Weltkrieg erschien: Bei der ‹Mult-Au-Matic› waren verschiedene Bearbeitungsstationen für Bohren, Drehen, Schleifen, Gewindeschneiden kreisförmig um einen zentralen

718 Wagenführ und Scholz 2008, S. 326

719 Dubbel [et al.] 2007, S.E 63:
«Die wichtigste Verarbeitungsmethode stellt das Sägen, gefolgt vom Bohren und Fräsen, dar. Die Sägetechnik wird nicht nur für die Rohware, sondern mit allen Freiheitsgraden aus der CAM-Technik auch für die Endbearbeitung [...] eingesetzt.»
vgl. zur Hand- und Maschinen-Werkzeug-Technik Powis Bale 1880, S. 4.
«With the exception, perhaps, of the wedge and the axe, the saw can lay claim to being the most ancient intrument for the conversion of wood, and it is certainly by far the most important.»

720 Wagenführ und Scholz 2008, S. 351

721 Powis Bale 1880, S. 181ff
Nach Louw 1992 S. 48 wurden die General Joiners zuerst in England von Samuel Worssam and Co. 1858 entwickelt.

Antrieb angeordnet[722]. Es gelang diesen Maschinen kaum, den an sie gestellten Ansprüchen gerecht zu werden[723]. Zudem ist oft der Antrieb das einzige universelle Maschinenbauteil, jeder Fertigungstechnik ist eine gesonderte Arbeitsfläche zugewiesen. An der Spezialisierung der Bauteile greift denn auch die Kritik an, wie von John Richards aus dem Jahr 1872: «A machine which is arranged to do several things is generally supposed to do but one at a time, hence the more functions it has, the greater the proportion of parts which are idle.»[724]
Genau wie die menschliche Hand kann eine Maschine der Informations-Werkzeug-Technik verschiedene Werkzeuge wählen, um ein Werkstück auf der gleichen Arbeitsfläche zu bearbeiten. Die Werkzeugwahl ist nicht Teil der Mechanik, sondern Teil des NC-Programms, nämlich der Zusatzfunktionen (M-Funktionen). Die spanischen Ingenieure Luis Norberto López de Lacalle Marcaide (*1964) und Aitzol Lamikiz Mentxaka (*1974) betrachten die Universalität als wesentliches Kennzeichen der aktuellen Entwicklung im Maschinenbau und stufen ihren Einfluss sogar höher ein als die der ihr zu Grunde liegenden numerischen Steuerung[725]. Hand-Werkzeug-Technik und Informations-Werkzeug-Technik zeichnen sich gleichermassen durch Universalität aus[726], während mechanische Vorrichtungen mit Maschinen-Werkzeug-Technik durch die Trennung von der Informationsverarbeitung Spezialmaschinen sind.

5.2.2 Automatische Positionierung

In der bereits erwähnten Bestandsaufnahme der amerikanischen Fertighaus-Hersteller von 1951 geht Burnham Kelly ausführlich auf die Verwendung von hölzernen und metallischen Lehren ein[727]. Selbst in einer industriellen Fertigung war also die Position von Anschlüssen, Bohrlöchern etc. nicht mechanisch bestimmt, weil es zu aufwändig war, diese Informationen

722 Lilley 1966, S. 153

723 Louw 1993, S. 32
«The combination machine, more commonly known as a ‹universal› or ‹general joiner› was a product of mid-century English technology, and mid-century thinking. Like the Swiss Army knife, the aim was to combine as many as possible functions in as small as possible a compass. Judging from its immediate popularity many must have regarded it as a neat and simple route to the general mechanisation of joinery in the building trade. In practice, however, the ‹universal joiner› did not live up to its early promise. Despite continuous development by leading manufacturers the optimum combination remained elusive; it turned out to be either overcomplex or too basic for tasks it had to perform in the general woodworking industry.»

724 John Richards, Treatise on the Construction and Operation of Woodworking Machines. London and New York 1872, S. 58, nach Louw 1993, S. 33

725 Lopez de Lacalle und Lamikiz 2009, S. VII:
«Machines have changed greatly in the last 30 years, particularly with the incorporation of numerical control. [...] However, in the last 15 years an even greater change has occurred, traditional machines, i.e., lathes, milling machines, grinders, etc., have evolved into multiprocess/multitask machines, some of which are capable of milling, drilling, turning, boring, hobbing, measuring and even tempering with laser in the same machine.»

726 Ropohl 1991, S. 338 vermutet, dass die Universalität sogar öfter konstruktiv vorgesehen werde, als sie benötigt werde. «Ausserdem verleitet die Universalität der numerischen Steuerung dazu, auch die Maschinen sehr universell auszulegen, obwohl in der Maschinenkonstruktion nur diejenigen Transformationsparameter angelegt sein müssen, die für die jeweils anfallenden Fertigungsaufgaben wirklich gebraucht werden.»

727 Kelly 1951, S. 313

in die Mechanik zu integrieren. Ein Element wurde trotz maschineller Verarbeitung noch zweimal von Hand gezeichnet: Einmal mit Tusche in der Konstruktionszeichnung auf Papierbögen und einmal mit dem Zimmermannsbleistift oder der Reissnadel beim ‹Anreissen› auf dem Bauteil selbst. Mit der Kopplung von Informations- und Arbeitsmaschine steht der Maschine gewissermassen der Konstruktionsplan zur Verfügung. Der Arbeitsschritt ‹Anreissen› entfällt, da in den G-Funktionen die Positionierung des Werkzeugs und die abzufahrenden Werkzeugpfade bereits enthalten ist. Dadurch werden die Lehren überflüssig. Es ist das, was ich in Kapitel 2.2.3.1 als ‹Aufprägen von Information auf einen Werkstoff durch Einsatz von Energie› bezeichnet habe[728]. Weil das Aufmessen und Anreissen entfällt, beschleunigt die Informations-Werkzeug-Technik den Produktionsprozess unabhängig davon, ob die gefertigten Bauteile gleich oder unterschiedlich sind. Daher ist die automatische Positionierung, die «Grundaufgabe jeder numerischen Steuerung»[729], zuerst einmal eine NC-gestützte Optimierung eines industriellen Prozesses.

5.2.3 Formalisierte Flexibilität

Die hervorstechendste spezifische Eigenschaft der NC-Technik ist die ‹one-of-a-kind-production›, die maschinelle Produktion von Unikaten. So war für die Entwicklung der Abbundmaschinen die Flexibilität in der Fertigung die treibende Kraft[730]. Der Architekt Ludger Hovestadt (*1960) vergleicht die one-of-a-kind-production mit einem Laserdrucker, der verschiedenste Vorlagen wie Texte, Bilder und Zeichnungen drucken kann, ohne dass für die Umstellung neue Matrizen erstellt werden müssen: So flexibel wie der Laserdrucker auf Papier drucke, fertigen Fräsen und Abbundmaschinen in Holz[731]. Ohne dass Schnittwinkel, Schnitttiefen und Längen manuell eingestellt werden müssen, können unterschiedliche Bauteile mit industrieller Geschwindigkeit maschinell zugeschnitten oder gefräst werden.
Die (Wieder-)Vereinigung des Informations- und Stoffumsatzes innerhalb der Maschine bringt auf den ersten Blick eine Eigenschaft zurück, die dem handwerklichen Prozess zugeschrieben wird: Die maschinelle Produktion von Unikaten ist eine Abkehr vom Austauschbau und eine Rückkehr zum Zusammenpassbau. Die Prinzipien Austauschbau und Zusammenpassbau sind also an die Kopplung bzw. Trennung von Information- und Materialumsatz

728 vgl. «Ineinandergreifen von Daten und Material» als «Informierung von Architektur» bei Gramazio und Kohler 2006

729 Spur 1991, S. 543

730 Der Maschinenbauer Hans Hundegger wurde angeregt durch den Bauunternehmer Jakob Maier. In Ryll 1997, S. 44 wird Maier zitiert mit: «Du musst was für die Zimmerer machen. Die Dächer werden immer komplizierter. Von Hand können sie kaum mehr erstellt werden.» Auf http://www.hundegger.de, Zugang im Februar 2009, ist Maiers Anregung folgendermassen formuliert: «Es müsste eine flexible Abbundmaschine geben, denn die Kasernendächer mit hundert gleichen Sparren gibt es in Zukunft nicht mehr»

731 Hovestadt 2006, S. 80



Abb. 107: Ringve Botanical Garden Viewing Platform aus 700 individuellen Elementen, Projekt an der NTNU Trondheim bei Knut Einar Larsen, 2007 (vgl. Larsen, Schindler, Scheurer und Stori 2008; Larsen und Schindler 2009; Foto: Autor)



Abb. 108: Eindeutige Bezeichnung der Bauteile mittels Pultdrucker einer Abbundanlage (Foto: Autor)



Abb. 109: Libeskinds Futuropolis: Skulptur aus 98 Einzeltürmen, 2164 Einzelteilen, Tonhalle St. Gallen 2005 (vgl. Scheurer, Schindler und Braach 2005; Schindler und Scheurer 2006a; Foto: Autor)



Abb. 110: Bezeichnung der Bauteile mittels manuell aufgebrachten, handelsüblichen Adressaufklebern, die mit einem Laserdrucker bedruckt wurden (Foto: Fabian Scheurer)



Abb. 111: Swissbau Pavillon der Professur für CAAD, 1280 Einzelteile, Basel 2005 (vgl. Schindler, Scheurer und Walz 2008; Foto: Jürg Gasser)



Abb. 112: Bezeichnung der Bauteile mittels eingefräster Nummerierung (Foto: Fabian Scheurer)

geknüpft. Auf den zweiten Blick fällt auf, dass die Fertigungsflexibilität der Informations-Werkzeug-Technik anderer Art ist als die der Hand-Werkzeug-Technik: In der Hand-Werkzeug-Technik schränken allein die Materialabmessungen, die Werkzeuggeometrien und die zur Verfügung stehende Energie die Bearbeitung ein – die Flexibilität ist maximal, alles andere ist dem Wissen und Können des Handwerkers überlassen. Weil aber die Bewegungen der Hand nicht formal beschreibbar sind, ist es theoretisch nicht möglich, zweimal hintereinander exakt die gleiche Bewegung auszuführen. Die Flexibilität ist also maximal, aber sie ist auch formal unbestimmt. In der Maschinen-Werkzeug-Technik ist die Flexibilität minimal, beispielsweise ist bei einem Bundgatter mit mehreren fest montierten Sägeblättern allein der Parameter ‹Brettlänge› frei wählbar. Die Informations-Werkzeug-Technik vereint das formale Korsett der Maschinen-Werkzeug-Technik mit der Flexibilität der Hand-Werkzeug-Technik: Ihre Flexibilität ist durch allgemein vereinbarte Massysteme sowie eine informationsmaschinenspezifische und arbeitsmaschinenspezifische Formalisierung gefasst.

Formalisierung des Stoffflusses: Masssysteme und Toleranzen

Auf den ersten Blick hat die Informations-Werkzeug-Technik mit dem Austauschbau nicht viel gemein, da zwei Teile nicht mehr identisch sein müssen. Zusammenpassen müssen sie aber dennoch. Diese Passung wird nicht relativ auf zeichnerischem Weg gelöst wie in der Hand-Werkzeug-Technik, sondern auf der Grundlage von vereinbarten Masssystemen und Toleranzen, die bereits die Basis für den Austauschbau bilden. Maschinen kommunizieren mit vereinbarten Genauigkeiten im metrischen System: die Grundlage der formalen Beschreibung eines Werkstücks erfolgt in metrischen Koordinaten. Die in nationalen und internationalen Normenausschüssen zu Beginn des 20. Jahrhunderts festgelegten Masseinheiten und Toleranzsysteme sind also gleichermassen unabdingbare Voraussetzung für die Informations-Werkzeug-Technik. Grundlage für die flexible Fertigung sind international genormte Standards. Mehr noch: Da die Fertigungspräzision stetig zugenommen hat[732], hat auch die Normung stetig an Bedeutung gewonnen.

Formalisierung des Informationsflusses: NC-Programme

Eine nächste Stufe der Formalisierung findet in den Funktionen des NC-Programms statt, die in DIN 66025 ebenfalls genormt sind. In dieser vereinheitlichenden Sprachregelung werden die Fertigungsanweisungen formal gefasst. Aus diesen Angaben berechnet die Bahnsteuerung[733] der Maschine die auszuführenden Werkzeugbewegungen, so dass auch sehr kom-

---

732 Trumpold [et al.] 1991, S. 8

733 vgl. auch ältere Steuerungsarten nach Kief und Roschiwal 2007 Glossar, die für diese Arbeit keine Rolle spielen:
Punktsteuerung (point-to-point control): NC, die alle programmierten Positionen auf ungesteuerter Bahn anfährt. Dabei ist kein Werkzeug im Eingriff. Erst nach erfolgter Positionierung kann die Bearbeitung beginnen. Anwendung zum Bohren, Stanzen, Punktschweissen.
Streckensteuerung (straight cut control): Numerische Steuerung, die das Werkzeug im Vorschub nur

Code	Funktion	Code	Funktion
G00	Positionieren im Eilgang, Punktsteuerung	M00	Programmierter Halt. Spindel, Kühlmittel und Vorschub aus. Erneuter Start über Taste START
G01	Lineare Interpolation		
G02	Kreisinterpolation, im Uhrzeigersinn	M01	Wahlweise Halt. Wirkt wie M00, wenn Schalter WAHLWEISER HALT auf EIN steht
G03	Kreisinterpolation, gegen Uhrzeigersinn		
G04	Verweilzeit	M02	Programm ENDE
G17	Ebenenauswahl XY	M03	Spindel EIN, Rechtslauf
G18	Ebenenauswahl XZ	M04	Spindel EIN, Linkslauf
G19	Ebenenauswahl YZ	M05	Spindel STOP
G33	Gewindeschneiden mit konstanter Steigung	M06	Werkzeugwechsel ausführen
G34	Gewindeschneiden mit zunehmender Steigung	M07	Kühlmittel 2 EIN
G35	Gewindeschneiden mit abnehmender Steigung	M08	Kühlmittel 1 EIN
G40	Löschen aller abgerufenen Werkzeugkorrekturen	M09	Kühlmittel AUS
G41	Werkzeugradiuskorrektur. Versatz nach rechts	M10	Klemmung EIN
G42	Werkzeugradiuskorrektur, Versatz nach links	M11	Klemmung AUS
G43	Werkzeugradiuskorrektur, positiv	M13	Spindel EIN, Rechtslauf und Kühlmittel EIN
G44	Werkzeugradiuskorrektur, negativ	M14	Spindel EIN, Linkslauf und Kühlmittel EIN
G53	Löschen der abgerufenen Nullpunktverschiebung	M19	Spindel STOP in bestimmter Winkellage
G54-G59	Nullpunktveschiebung 1-6	M30	wie M00, zusätzlich Lochstreifen zurückspulen
G60	Einfahrtoleranz 1	M31	Verriegelung aufheben
G61	Einfahrtoleranz 2, auch Schleife fahren	M40-45	Getriebestufen-Umschaltung
G62	Schnelles Positionieren, nur Eilgang	M50	Kühlmittel 3 EIN
G63	Vorschub 100% setzen, z.B. Gewindebohren	M51	Kühlmittel 4 EIN
G64	Vorschub- und/oder Drehzahlwechsel	M60	Werkstückwechsel
G70	Masseingabe in inch	M68	Werkstück spannen
G71	Masseingabe in mm	M69	Werkstück entspannen
G73	Programmierter Vorschub = Achsvorschub		
G74	Referenzpunkt anfahren der 1. und 2. Achse		
G75	Referenzpunkt anfahren der 3. und 4. Achse		
G80	Löschen der abgerufenen Zyklen		
G81-G89	Festgelegte Bohrzyklen		
G90	Absolutmasseingabe (Bezugsmass)		
G91	Relativmasseingabe (Inkrementalmass)		
G92	Programmierte Bezugspunktverschiebung		
G94	Vorschub in mm (oder inch) pro Minute		
G95	Vorschub in mm (oder inch) pro Umdrehung		
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit		
G97	Spindeldrehzahl in 1/min		

***Tabelle 13:** Vorbereitende Wegbedingungen (G-Funktionen) und Zusatzfunktionen (M-Funktionen) nach DIN 66025 Teil 2 (1998), zitiert nach Kief 2007, S. 341ff*

plizierte Werkstücke bis ins Detail numerisch definiert sind. Die Bahnsteuerungen verfügen dabei je nach Maschine über verschiedene Interpolationsarten[734], um die Zwischenpositionen des Werkzeugs zu berechnen und die Achsen zum gleichen Zeitpunkt den programmierten Endpunkt erreichen zu lassen:

— Eine Linear- oder Geradeninterpolation, die sich an alle Profil- oder Raumkurven durch Polygonzüge annähert,
— eine Zirkular- oder Kreisinterpolation, die die Programmierung dieser Bahnen erleichert und so deren Genauigkeit erhöht,
— eine Parabelinterpolation, die auf die gleiche Weise mit durch drei Punkte festgelegten Parabeln verfährt und
— eine Splineinterpolation, mit denen freie Kurven durch Parabel-Teilstücke dargestellt werden, zwischen denen tangentenstetige Übergange errechnet werden.

In der aktuellen DIN 66025 sind ausschliesslich die Linearinterpolation und die Kreisinterpolation erfasst, während die Parabelinterpolation und die Splineinterpolation anbieterspezfische Erweiterungen sind. Letztere versucht die Bahnbeschreibung im NC-Programm an die mathematische Darstellung von NURBS-Kurven und -Flächen in CAD-Systemen anzupassen, ohne dass diese in Polygonzüge mit der entsprechenden Menge an Weginformationen für die Linearinterpolation aufgelöst werden müssen. Die Bestrebungen, die DIN 66025 ensprechend zu ergänzen, haben bislang noch zu keinem Erfolg geführt[735].

Für die Fertigungsbeschreibung einer Form im NC-Programm heisst das, dass diese mit den obigen vier G-Funktionen (Wegbedingungen) ausgedrückt werden muss, um auf einer CNC-Maschine bearbeitet werden zu können. Eine ‹informationsmaschinenspezifische Formalisierung› kennzeichnet unabhängig von den genormten G-Funktionen sämtliche Maschinen, die mit Informations-Werkzeug-Technik arbeiten; so auch die frühen lochkartengesteuerten Webstühle Jacquards, für die die zu webenden Muster entsprechend formalisiert werden müssen[736]. Kaiser spricht hier von einer Verschlüsselung der geometrischen Information der Konstruktion in ein Fertigungsprogramm[737].

Die Flexibilität einer elektronisch gesteuerten Informations-Werkzeug-Maschine geht weit

achsparallel (X, Y, Z nacheinander) verfahren kann.

734 vgl. Kief 2007, S. 37ff

735 Weck und Brecher 2006, S. 217

736 Schneider 2005, S. 59 über die Formalisierung von Webmustern auf den lochkartengesteuerten Webstühlen Jacquards: «Dieses Wissen um die Formalisierbarkeit von Mustern wurde in der Weberei in einem vom Webstuhl abgesonderten Medium entwickelt und zwar genau wie bei der späteren Lochkarte auf Papier. Die Notation von Mustern in den verschiedenen Formen – wie als Patrone oder Anschnürungsplan – muss deshalb mit der Formalisierung von Mustern als Anordnungen von Löchern auf Karten gemeinsam betrachtet werden.
Die Besonderheit der Weberei besteht nämlich darin, genauso auf Notationen angewiesen zu sein, wie ein Orgelspieler Noten braucht, um ein Musikstück zu spielen. Ohne vorherige Formalisierung des Musters als Notation können bereits einfachere Muster nicht gewebt werden. So kommt es zu dem Umstand, dass die Notationen von Mustern auf Papier in der Weberei bereits eine formalisierte und in Teilen sogar codierte Form von Mustern und Bildern darstellte.»

737 Kaiser 1992, S. 421



Abb. 113: Flexible Fertigungsstrasse bei Hector Egger Holzbau AG, Langenthal Schweiz, 2006. Im Hintergrund ist eine Hundegger Abbundmaschine zu sehen, im Anschluss eine Weinmann Multifunktionsbrücke mit Leim- und Nagelfunktion und im Vordergrund eine Plattform zum Wenden der Elemente (Foto: Autor)



Abb. 114: Multifunktionalität des Datensatzes: Der Datensatz, aus dem das NC-Programm zur Ansteuerung der Abbundmaschine erzeugt wird, dient ebenso zum Ausdruck von Ladeplänen mit Anfahrtsbeschreibung.
(Hector Egger, 2006; Foto: Autor)



Abb. 115: Eindeutige Bezeichnung der Bauelemente eines Dachstuhls mittels einer Etikettieranlage mit Heftmaschine, die als Zubehör der Abbundmaschine geliefert wird
(Hector Egger, 2006, Foto: Autor)

über die Möglichkeiten einer mechanischen Steuerung hinaus – zum einen, weil sich mechanische Informationsverarbeitung nur mit einer begrenzten Anzahl an Freiheitsgraden gestalten lässt, zum anderen, weil für eine beliebige freie Bewegung im Raum mehr Zwischenpositionen errechnet werden müssen, als dies mit mechanischen Mitteln in angemessener Zeit möglich wäre. Mit elektronisch gesteuerten Maschinen lässt sich jede Drehung und Positionsänderung des Werkzeugs in beliebiger Kombination auszuführen. Diese Bearbeitungskomplexität war und ist eine weitere treibende Kraft in der Entwicklung der CNC-Maschinen. Um damit operieren zu können, muss man aber die Formalisierung der Informations-Werkzeug-Technik akzeptieren, was von vielen Handwerkern als «Verlust der individuellen Fertigungssouveränität» empfunden wird[738].

Arbeitsmaschinenspezifische Einschränkungen

Zusätzlich zum formalen Rahmen der Informationsverarbeitung bildet – wie auch in der Maschinen-Werkzeug-Technik – die Mechanik der Fertigungsmaschine einen Rahmen der Möglichkeiten. Zum einen ist die Grösse eines Bauteils immer von der Grösse der jeweiligen Arbeitsfläche begrenzt, die sich wiederum in Zusammenhang mit der Normung nach der Grösse der handelsüblichen Halbzeuge richtet. Zum anderern hängt die Geometrie des zu fertigenden Werkstücks mit Geometrie und Eigenschaften der Werkzeuge zusammen.
Ein bekanntes fräsmaschinenspezifisches Detail ist das Problem der Innenecke: Eine scharfe Innenecke lässt sich wegen des Minimalradius des Fräswerkzeugs nicht erreichen; daher müssen die Ecken überschnitten werden. Der Designtheoretiker Jochen Gros (*1944) hat 1994 bei seinem ‹C-Hocker›, einer computerunterstützten Interpretation des Ulmer Hockers von Max Bill (1955), diese arbeitsmaschinenspezifischen Einschränkungen entwerferisch thematisiert und die sogenannte ‹Fingerspitzen-Verzinkung› entwickelt[739]. Das Problem der scharfen Innenecke lässt sich zwar auch mit mechanischen Mitteln umgehen, erfordert dann aber Spezialmaschinen[740].

738 Zander 2008, S. 140, und weiter:
«War es bisher relativ gleichgültig, auf welcher Höhe z.B. ein Topfband gebohrt wurde, und lag dieses mehr oder minder in der Entscheidung des einzelnen Arbeiters, variabel von Auftrag zu Auftrag (aber eben auch mit einem hohen Fehlerquotienten verbunden), so besteht nun eine ‹Variablen-Programmierung› auf genauer Normung sowohl der Bandart als auch des Sitzes des Bandes. Ohne diese Standardisierung bleibt die CNC-Anwendung zeitintensives Stückwerk, CAM-Systeme sind ganz undenkbar.»

739 Steffen 2003, S. 76:
«Infolge der neuen Bearbeitung entstand bei der Verzinkung […] ein halbrunder Zinkengrund in der Grösse des Fräserdurchmessers […]. Da dieser Spalt wie eine fehlerhafte Ausführung wirkte, andererseits aber gar nicht zu vermeiden war, galt es, hierfür eine gestalterische Lösung zu finden. So wurden die Zinken schliesslich tiefer als erforderlich eingefräst und der zunächst undeutliche Spalt zu einem klar gewollten Anzeichen des neuen Produktionswerkzeugs überhöht.»

740 Nutsch 1999, S. 45:
«Mit besonderen Zinkenfräsen kann man heute eine scharfkantige Zinkung in beliebiger Breite und Grösse herstellen, die sich von einer exakten Handzinkung nicht unterscheidet.»

5.2.4 Multifunktionalität des Datensatzes

Unmittelbar verbunden mit der flexiblen Produktion und dem Prinzip des ‹Zusammenpassbau› ist die Logistik. Sobald die Bauteile eines Gebäudes nicht mehr identisch sind, müssen sie gekennzeichnet werden, damit sie identifiziert, zur richtigen Zeit zur richtigen Baustelle transportiert und dort am richtigen Ort eingebaut werden können. Die Problematik ist identisch mit den in Kapitel 3.4.3 ‹Abbundzeichen› beschriebenen Herausforderungen in der Hand-Werkzeug-Technik. Im Gegensatz zur Hand-Werkzeug-Technik werden die Kennzeichnungen aber nicht unabhängig von der konstruktiven Planung nach der Fertigung als Beziehung zwischen zwei Bauteilen aufgebracht, sondern können bereits integraler Bestandteil der Planung sein. Aus dem Datensatz, der eine Struktur beschreibt, können also nicht nur Informationen für die Werkzeugbewegungen, sondern auch logistische Angaben abgeleitet werden. Diese dienen zur eindeutigen Kennzeichnung der Bauteile – entweder durch das Einfräsen von Zeichen mit dem Werkzeug oder durch die Ansteuerung einer weiteren kleinen, computergesteuerten Maschine. Die Firma Hundegger bietet für ihre Abbundmaschinen gleich drei verschiedene CNC-Beschriftungssysteme an: ein Tintenmarkiergerät, einen Pultdrucker (Aufkleber werden ausgedruckt, müssen aber manuell aufgebracht werden) und ein vollautomatisches Etikiergerät, dass die Etiketten mit einer Klammermaschine an den entsprechenden Bauteile befestigt[741]. Gleichermassen können auch Stücklisten, Ladepläne usw. abgeleitet werden; der Datensatz ist also multifunktional.

741 www.hundegger.de, Zugang im Februar 2009

5.3 Auswirkungstendenzen der Informations-Werkzeug-Technik im Holzbau

Während die Maschinen-Werkzeug-Technik deutlich zwei neue Entwicklungen im Holzbau hervorbrachte – den Ingenieurholzbau und den modularen Fertighausbau –, sind die Auswirkungen der Informations-Werkzeug-Technik auf den Holzbau auf dem gegenwärtigen Standpunkt noch nicht so deutlich zu umreissen. Es fällt schwer, wie in der Hand-Werkzeug-Technik das Fachwerk und in der Maschinen-Werkzeug-Technik den Balloon Frame und den Rahmenbau als projektübergreifende konstruktive Ansätze anzuführen, die auf die Informations-Werkzeug-Technik zurückzuführen wären. Der Holzbau bietet aufgrund der im Vergleich zu anderen Baustoffen leichten spanenden Bearbeitbarkeit von Holz und Holzwerkstoffen ein weites Experimentierfeld für digitale Entwurfs- und Fertigungstechniken: Mit keinem anderen Baumaterial ist es so einfach, individuelle Bauteile herzustellen. Dementsprechend ist in den letzten fünf Jahren eine Reihe ungewöhnlicher Experimente im Massstab 1:1 realisiert worden, die den traditionellen Werkstoff Holz in einen neuen Kontext stellen und Universalität, automatische Positionierung, formalisierte Flexibilität und Multifunktionalität des Datensatzes zu ihrer konstruktiven Grundlage machen.
Es stellt sich die Frage, inwieweit diese Experimente der Inkubator für eine anders geartete holzspezifische Formensprache und neue Tragwerkskonzepte im Holzbau sind, oder ob sich der Neuheitswert in der Umsetzung mit erstaunlich weit vorangetriebenen computergestützten Planungs- und Fertigungsmethoden erschöpft[742].

5.3.1 Vom Stab zur Platte

Die flexible Fertigung ist nicht mehr auf das regelmässige Raster des Austauschbaus angewiesen. Entsprechend ist im Holzrahmenbau seit den 1990er Jahren zu beobachten, dass die durch den Austauschbau entstandenen Raster an Bedeutung und Präsenz verlieren. Es spielt keine Rolle mehr, ob ein Element nun genau in einem Raster steht oder nicht – seine Passgenauigkeit ist durch die Fertigungspräzision garantiert und seine Position durch die Nummerierung eindeutig zuordbar. Hovestadt beobachtet eine «Überwindung des Rasters» und spricht in diesem Zusammenhang von einem Paradigmenwechsel von ‹System → Entwurf› zu ‹Entwurf → System›: Die Gebäude werden ohne Raster entworfen, danach werden die Systemelemente an die architektonische Form angepasst[743].

742 vgl. Kraft und Schindler 2009a
743 Hovestadt 2006, S. 80



Abb. 116: Platte als Kartenhaus: Reihenhaus in Longyearbyen, Svalbard. Brendeland Kristoffersen Architekten, Trondheim, 2007 (Foto: Geir Brendeland)



Abb. 117: Reihenhaus in Longyearbyen: Aussenansicht (Foto: David Grandorge)



Abb. 118: Platte als Ausschneidebogen: Inventioneering Architecture Ausstellungsplattform, Instant Architekten, 2005 (vgl. Schindler, Braach und Scheurer 2006; Foto: Autor)

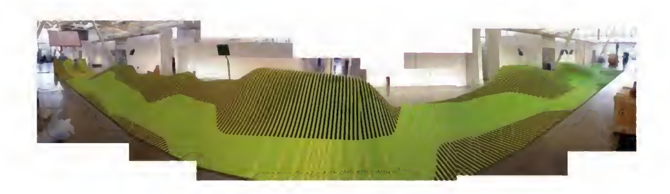


Abb. 119: Inventioneering Architecture; die 1000 unterschiedlichen Bauteile wurden aus 152 MDF-Platten herausgefräst (Foto: Instant Architekten)

Die Platte als Baulement: ‹Kartenhausbau›

Als Ausgangspunkt der konstruktiven Umsetzung der Rasterüberwindung im Holzbau gilt grossflächige Platte als Bauelement, die seit Ende der 1980er Jahre an Bedeutung gewonnen hat[744]. Für den Architekten Andrea Deplazes (*1960) ist das «Grundelement des aktuellen Holzbaus die Platte, nicht mehr der Stab», die «ohne erkennbare innere Hierarchie produktionstechnisch in den zwei Flächendimensionen frei ausdehnbar »[745] ist. Die Anfänge der Platte als Grundelement des Holzbaus sind allerdings schon früher zu sehen. Wie wir am Schluss von Kapitel 4 gesehen haben, beginnt die Grenze zwischen Stab- und Platte bereits in den amerikanischen Holzrahmenkonstruktionen der 1940er Jahre zu verschwimmen.
Am konsequentesten werden Deplazes' ‹Platten ohne innere Hierarchie› mit lasttragenden Scheiben jedoch mit kreuzvernagelten oder -verklebten Brettern umgesetzt, wie sie seit Ende der 1980er Jahre als ‹Brettsperrholz› bzw. mit erweitertem Begriffsumfang als sogenanntes ‹Massivholz›[746] zum Einsatz kommen. Während die Anzahl der Einzelkomponenten und die Masse eines Bauteils zunehmen, findet in der Wahrnehmung gewissermassen eine Entmaterialisierung des Holzbaus statt: «Die Platten-Tektonik des aktuellen Holzbaus will ausschliesslich strukturell gelesen werden und nicht materiell wie beim herkömmlichen.»[747]
Die lesbare Struktur ist wiederum keine übergeordnete Instanz, sondern der Grundriss selbst: Der Ingenieur Josef Kolb spricht im Sinne Hovestadts von «Elementen im Raum- oder Grundrissmass»[748], die gleich einem Kartenhaus zusammengefügt werden. Die Elemente werden dabei an den Grundriss angepasst und nicht der Grundriss an die Elemente. Das Raster ist nicht deformiert oder angepasst; es existiert nicht mehr – oder allenfalls noch in minimalen Vereinbarungen wie einer Stockwerkshöhe. Fenster und Türen können ohne Beschränkungen aus den grossformatigen Holztafeln herausgeschnitten werden. Grundlage für die Herstellung der rasterlosen Elemente sind wiederum die Maschinen der Informations-Werkzeug-Technik[749], deren Arbeitsflächen bis zu 8 m Breite und beliebige Länge erreichen können[750]. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist die Produktionszunahme von Platten mit grossen Formaten, wie beispielsweise Spanplatten bis zu 2.800 × 16.000 mm[751].

---

744 Wagenführ und Scholz 2008, S. 140

745 Deplazes 2008, S. 79 (vgl. Deplazes 2001)

746 vgl. DIN EN 12775 (2001):
«4.1 Massivholzplatte: Massivholzplatte, die aus mehreren Holzstücken besteht, die an ihren Schmalseiten und, falls mehrlagig, an den Breitseiten miteinander verklebt sind.»

747 Deplazes 2008, S. 81, und weiter auf S. 82.
«Holzplatten werden als ‹Kunststoff› – vor allem, wenn sie durch einen Farbanstrich innen und aussen neutralisiert werden – eine ähnliche Position einnehmen wie der homogene Beton im Massivbau, der strukturell alle tektonischen Elemente eines Bauwerks besetzen kann, ohne jemals materiell zum Ausdruck zu gelangen.»
(vgl. Deplazes 2001)

748 Kolb 2007, S. 45

749 Affentranger 2001; Kolb 2007, S. 112

750 http://www.hundegger.de/portalbearbeitungszentrum.html?&L=10415, Zugang im Februar 2009

751 Lohmann 2003 Bd.2, S. 395

Die Platte als Ausschneidebogen

Ein ganz anderer Umgang mit der Platte findet bei der Umsetzung von Freiformflächen im Messe- und Ausstellungsbau statt. Dabei ist die Platte nicht selbst das Bauteil, sondern gewissermassen ein ‹Ausschneidebogen› für die einzelnen Bauteile, die möglichst verschnitt-optimiert geschachtelt und anschliessend aus den Platten herausgefräst werden[752]. Die Anordnung der Bauteile auf dem Ausschneidebogen nimmt dabei keine Rücksicht auf die innere Struktur der Platte; unabhängig davon, ob diese nun aus homogenen Holzwerkstoffen oder kreuzweise verbundenen Brettern bestehen.

5.3.2 Re-Detaillierung der Verbindung

Während Maschinen-Werkzeug-Technik die Holzverbindung durch den Stahlverbinder weitgehend ersetzt hat, bringt sie die Informations-Werkzeug-Technik unter neuen Vorzeichen zurück. Holzverbindungen wie Versätze, Überblattungen und Verzapfungen sind wieder hochaktuell für Verbindungen mit geringeren Belastungen[753], bei denen vor allem Druck- und Scherkräfte übertragen werden[754]. Es ist keineswegs so, dass diese Verbindungen aus formalen oder gar nostalgischen Gründen gewählt werden. Die Holz-Holz-Verbindung wurde einst von der Stahlverbindung verdrängt, weil diese nicht wirtschaftlich genug war. Durch die CNC-Technik erobert sich die Holz-Holz-Verbindung wiederum aus wirtschaftlichen Überlegungen ihren Platz zurück. Weil die Werkzeugpositionieung und dadurch auch die Fräsung der Holzverbindung auf der Grundlage eines NC-Datensatzes stattfindet, kann diese auch die Funktion des Anreissens mit der Lehre übernehmen, ist also gleichzeitig Verbindung und Positionierung.

In der Folge kehrt die Holz-Holz-Verbindung wieder in die Baukonstruktionsbücher zurück. Entsprechende Hinweise finden sich ab den 1990er Jahren und verstärkt seit der Jahrtausendwende bei Natterer[755], Gerner[756], Hugues[757] und Kolb[758]. Da eine Holzverbindung natürlich nachwievor eine leistungsvermindernde Querschnittsverkleinerung bedeutet, stellt sie für stär-

---

752 Beispiele für eine solche Herangehensweise sind
— Swissbau Pavilion der Professur für CAAD, Swissbau Basel 2005 (Schindler, Scheurer und Walz 2008)
— Inventioneering Architecture Ausstellungsplattform, Instant Architekten 2005 (Schindler, Braach und Scheurer 2006)
— Pavillons im Semperdepot Wien, Stefan Gruber und Andrei Gheorghe, Wien 2008
in. Zuschnitt 31, Wien : proHolz Austria, 2008, S 26
— « .. ich will an den Inn ...». Ausstellungsplattform Architekturtage 2008 Wien, columbosnext Innsbruck, 2008
in Zuschnitt 31, Wien : proHolz Austria, 2008, S 26

753 Kolb 2007, S. 165

754 Rug und Lissner 2003, S 249

755 Natterer 1991, S 106

756 Gerner 2000, S. 118

757 Hugues, Steiger und Weber 2002, S 74

758 Kolb 2007, S 165

ker belastete Verbindungen keine Alternative, sondern allenfalls eine Ergänzungsmöglichkeit zu den stift- und plattenförmigen Stahlverbindungen dar. So können leistungsfähige Stahlverbindungen durch eine Holzverbindung als Positionierungshilfe und Lagesicherung erweitert werden[759].

Aus dieser Überlegung heraus stellt sich die Frage nach neuen Möglichkeiten; nach Holzverbindungen, die mit handwerklichen oder industriellen Zimmerermethoden weder wirtschaftlich noch technisch realisierbar wären – die also erst durch die CNC-Technik entstehen konnten. Eine besondere Rolle kommt dabei der aus dem Handwerk bekannten Schwalbenschwanz-Verbindung zu, die sich für eine mechanische Bearbeitung mit Maschinen-Werkzeug-Technik als zu komplex erwiesen hatte[760], sich aber in verschiedenen Ausprägungen für eine Umsetzung auf computergestützten Maschinen eignet.

Schwalbenschwanz-Verbindungen im computergestützten Abbund

Ein früher Hinweis auf eine systematische Untersuchung der Schwalbenschwanz-Verbindung mit Informations-Werkzeug-Technik ist ein gemeinsames Forschungsprojekt der Firma Hundegger mit der TU München von 1998[761]. Die Ergebnisse der Studien haben deutlich gezeigt, «dass es sich bei der neuartigen Verbindung um eine wesentlich leistungsfähigere Form als die herkömmlicher Zapfen- oder ausgeklinkter Trägeranschlüsse handelt»[762]. Seitdem hat die Schwalbenschwanz-Verbindung über die dafür speziell gefertigten Werkzeuge der Hundegger-Abbundmaschinen Einzug in den Holzrahmenbau gehalten. Ursprünglich als Verbindung zwischen Haupt- und Nebenträger in Deckenkonstruktionen konzipiert, werden inzwischen damit auch standardmässig Rahmenverbindungen im Holzrahmenbau realisiert. Die Einführung der Schwalbenschwanz-Verbindung im Zimmereiabbund hat zwar das Fügen der Bauteile vereinfacht, darüberhinaus aber im konstruktiven Aufbau von Wänden und Decken kaum Spuren hinterlassen. Die Schwalbenschwanz-Verbindung bleibt weitgehend unsichtbar, da sie innerhalb von Deplazes' ‹Platten ohne innere Hierarchie› verschwindet.

---

759 Die Interpretation der Holzverbindung als Lagesicherung mit Kraftübertragung über eiserne Verbindungsmittel gab es zuweilen bereits in der Hand-Werkzeug-Technik, vgl. Voch 1777, Zugabe S. 6:
«Damit die Sparren durch vieles Einschneiden nicht zu sehr geschwächet werden, so hat man den gewöhnlichen Weg, die Kreuz- oder Schwerdbander g in die Sparren einzublatten, nicht befolgen wollen, sondern sie sind in die Rafen oder Sparren eingezapft, und mit eisernen Schienen und Bolzen verwahret.»
vgl. auch Schindler 2009a

760 Powis Bale 1880, S. 186 ff über ‹Dove-tailing machines›:
«Numerous attempts to perform this operation by mechanical means have been made, but, with one or two exceptions, with scanty success».

761 Der «Verband High-Tech-Abbund im Zimmererhandwerk» hat eine CD veröffentlicht, auf der ein gemeinsames Forschungsprojekt der Firma Hundegger mit der TU Munchen aus dem Jahr 1998 das Potential der Schwalbenschwanz-Verbindung anhand von Versuchen dokumentiert. Vgl. Verband High-Tech-Abbund im Zimmererhandwerk 2006, siehe auch http://www.lohn-abbund.de, Zugang im Februar 2009

762 Holzner 1999, S. 80





Abb. 120: Schwalbenschwanz-Holzverbindung als Positionierungshilfe in Wandaufbauten und Dachstühlen (Hector Egger Holzbau AG, Langethal, 2006; Fotos: Autor)



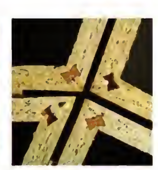


Abb. 121: Detaillierung Swissbau Pavillon der Professur für CAAD, Basel 2005: Hoffmann-Schwalben zur Fixierung des Gehrungswinkels während des Austrocknen des Leims (vgl. Schindler, Scheurer und Walz 2008; Fotos links: Adrian Blain, Fotos rechts: Autor)

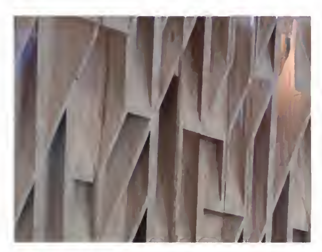




Abb. 122: Detaillierung Libeskinds Futuropolis: Schräg angeschnittene Hoffmann-Schwalben aus Aluminium zur Fixierung der Stösse während des Austrocknen des Leims (vgl. Scheurer, Schindler und Braach 2005; Schindler und Scheurer 2006a, Fotos: Autor)

Schwalbenschwanz-Profile für individuelle Gehrungen
Ganz anders dagegen die Hoffmann-Schwalbe, wenn auch mit weitaus beschränkterer Anwendung. Die Hoffmann-Schwalbe ist ein kleines, stranggepresstes Profil aus Kunststoff oder Aluminium, dass ursprünglich zur unsichtbaren Verbindung kleiner Bauteile wie Türbekleidungen, Füllungsrahmen oder Treppenläufen konzipiert wurde, in grösseren Querschnitten aber auch im Holzrahmenbau eingesetzt werden kann. Die Nut wird an den beiden zu verbindenden Bauteilen mit einem Keilnutfräser eingebracht. Anschliessend wird Klebstoff aufgetragen und das Schwalbenschwanzprofil eingeschlagen. Durch den Zusammenhalt mittels der Hoffmann-Schwalbe kann das Verpressen der Bauteile während des Aushärtens des Klebstoffs entfallen. Die Eigenart der Hoffmann-Schwalbe kann aber umso mehr ausgespielt werden, wenn die Gehrungswinkel der beiden Bauteile nicht rechtwinklig sind und eine Unterkonstruktion für das Verpressen mit Schraubzwingen oder Rahmenpresse enorm aufwändig wäre. Insbesondere bei Konstruktionen, die die formalisierte Flexibilität der Informations-Werkzeug-Technik ausnutzen und sich aus sehr vielen unterschiedlichen Gehrungswinkeln zusammensetzen, ist die Hoffmann-Schwalbe ein geeignetes Verbindungsmittel. Dabei werden diejenigen Bestandteile der Verbindung, die ihre Individualität ausmachen, im Holz realisiert, während die Verbindung selbst ein standardisierter Massenartikel bleibt.

5.3.3 Fünfachsiger Flankenschnitt

Das Fertigungsverfahren ‹Fräsen› ist seit der Jahrtausendwende beinahe zu einem Synonym für computer-unterstützte Umsetzung in der Architektur geworden. Doppelt gekrümmte Elemente, Ornamente wie Perforationen und strukturierte Oberflächen sowie Formlehren für Tiefzieh- und Gussverfahren werden aus verschiedensten Materialien gefräst. Dabei können zwei Techniken unterschieden werden: Das ‹Kugelkopffräsen› und das ‹Flankenfräsen›.

Kugelkopffräsen
Beim Kugelkopffräsen trägt nur die Werkzeugspitze Material ab. Diese ist in der Regel halbkugelförmig, was dem Verfahren seinen Namen verleiht; in DIN 8589 gehört es zur Gruppe Formfräsen. Wesentlich ist, dass die Geometrie des Werkzeugs nicht mit der Geometrie des Werkstücks übereinstimmt. Daraus ergibt sich seine universelle Anwendung: jede Form innerhalb der Freiheitsgrade der Maschine und den geometrischen Beschränkungen des Werkzeugs kann hergestellt werden. Die Halbkugeloberfläche des Werkzeugs erzeugt auf dem Werkstück eine geriffelte Oberflächentextur, die gegebenenfalls wie die auf einer Kopierfräse bearbeiteten Werkstücke noch manuell nachbeareitet werden muss (Kapitel 4.1.5). Je feiner die Riffelung, desto weniger Material wird in einem Schnitt abgetragen, desto länger wird der Schneidpfad und entsprechend zeitaufwändiger der Fräsvorgang, so dass sich das Kugelkopffräsen für grossmasstäbliche Anwendungen im Bauwesen kaum empfiehlt.

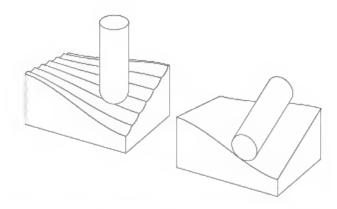


Abb. 123: Gegenüberstellung der Fertigungsverfahren Kugelkopffräsen und Flankenfräsen (vgl. Schindler 2008b)



Abb. 125: schindlersalmerón, Flankenschnittstuhl F 01, 2008 (Foto: Kyeni Mbiti)

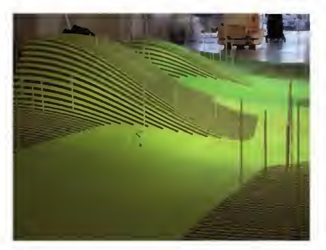


Abb. 124: Instant Architekten mit caad designtoproduction, Inventioneering Architecture Ausstellungsplattform, 2005 (vgl. Schindler, Braach und Scheurer 2006; Foto: Instant Architekten, Sascha Delz)

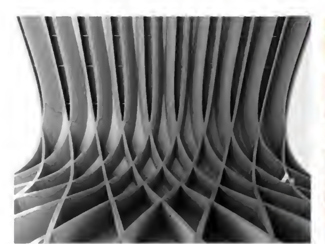


Abb. 126: Vordach Austria Center Vienna, Christian Knechtl mit Holzbau Bubacher, 2007 (Foto: Manuela Martin)



Abb. 127: Prototyp eines Tragwerkselements des Centre Pompidou Metz, Shigeru Ban, 2008 (Foto: Holzbau Amann, Martin Pfundt)

Flankenfräsen

Beim Flankenfräsen wird die Werkzeugachse parallel zur erzeugten Oberfläche geführt, daher wird es in DIN 8589 dem Umfangs- bzw. Umfangs-Stirnfräsen zugeordnet. Der Begriff ‹Flankenfräsen› bezeichnet die Kombination des Umfangfräsens mit einer fünfachsigen Fräserführung[763]. Da der Werkzeugschaft gerade ist, können nur ‹Regelflächen› geschnitten werden, die also durch die Bewegung einer Geraden im Raum erzeugt werden. Der Schaft des Fräsers folgt dieser ‹Geraden im Raum›, setzt also die Möglichkeit zur gleichzeitigen Bewegung mehrerer Achsen direkt in eine Formbildung um. Flankenfräsen hat im Vergleich zum Kugelkopffräsen ein hohes Zeitspanvolumen und ist dadurch deutlich wirtschaftlicher.
Bis vor kurzem fand das fünfachsige Flankenfräsen ausschliesslich im Maschinenbau zur Fertigung von Gebläseräder und Turbinen Anwendung. In jüngster Zeit ist das Verfahren für die Umsetzung verschiedener geometrisch anspruchsvoller Projekte sowohl mit Fräsen als auch Abbundmaschinen eingesetzt worden[764]. Der Einsatz des Verfahrens bedingt allerdings, zu Beginn der Ausführungsplanung die einzelnen Bauteile aus Regelflächen aufzubauen. Dadurch werden Eigenschaften der Fertigung, die in einem klassischen Bauprozess kaum Einfluss auf den Entwurf haben, zu einem frühen Zeitpunkt wesentlicher Bestandteil der Planung.
Im Kontext dieser Arbeit ist das Flankenfräsen besonders interessant, weil sich die Führung des Fräsers nicht in einer Ebene, sondern nur im Raum abbilden lässt. Eine solche Bewegung ist mit den manuellen Mitteln der Hand-Werkzeug-Technik kaum nach definierten Vorgaben zu realisieren. Mit den Mitteln der Maschinen-Werkzeug-Technik wäre dies wohl für eine nicht-flexible Fertigung theoretisch möglich, scheint aber wegen der notwendigen komplizierten Mechanik nie umgesetzt worden zu sein[765]. Dadurch wird der fünfachsige Flankenschnitt zu einem Fertigungsverfahren, dass die gestalterischen Möglichkeiten der Informations-Werkzeug-Technik besonders eindrucksvoll vor Augen führt.

5.3.4 Biegen ohne Formlehren

Die Produktion gekrümmter Formen in Holz ist gegenwärtig noch immer stark an der Serienfertigung orientiert, da sie zur während des Biege- und Fügeprozesses Formlehren einsetzen, die sich besonders in den Kosten von Kleinserien und Einzelfertigungen niederschlagen. Verschiedene Methoden für das Biegen ebener Platten sind gegenwärtig auf dem Markt etabliert, beispielsweise Dampfbiegen[766], Formsperrholz[767], Holzwerkstoffprodukte mit regelmässiger

763 Waldt 2005

764 Schindler 2008b

765 vgl. Benad-Wagenhoff 1994, S. 204

766 Exner 1876

767 vgl. Ngo und Pfeiffer 2003

Schlitzung[768] oder Methoden, die auf der Kaltverformung von Holz beruhen[769]. Alle diese Methoden sind zur Bestimmung der gewünschten Krümmung auf Formlehren angewiesen. Insofern ist die Überschrift dieses Abschnitts ‹Biegen ohne Formlehren› gegenwärtig mehr als eine Herausforderung als ein Phänomen zu begreifen. Anhand des (im Rahmen dieser Arbeit initiierten) Projekts ‹Zipshape› soll eine Strategie gezeigt werden, die nicht die Produktion von Formlehren optimieren will, sondern versucht, diese zu umgehen, indem die arbeitsaufwändigen Schritte aus der Materialverarbeitung in die Informationsverarbeitung hinein verschoben werden. Die Methode basiert auf einem geometrischen Prinzip. Ein gekrümmtes Element setzt sich aus zwei geschlitzten Platten zusammen, die sich nur miteinander verbinden lassen, wenn sie in die gewünschte Form gekrümmt werden. Die Krümmung ist definiert durch die Differenz zwischen den Winkeln an den Flanken der Zinken. Die Zipshape-Methode ersetzt die Formlehre durch das Hinzufügen von Information zur Geometrie der Panele: Die Krümmung ist nicht durch Material geformt, sondern durch Information beschrieben. Um den Vorteil der Methode, der durch das Ersparen der Formlehre errungen werden konnte, nicht mit zeitintensiver CAD-Detaillierung zu verspielen, sind die Schritte zwischen Krümmungsdefinition und Abwicklung einer Platte mit Software automatisiert.
Die Zinkung der Platten konnte mit einer 5-achsigen Fräse gelöst werden. Weil jeder Zinken sich durch eine unterschiedliche Geometrie auszeichnet, ist es nicht möglich, eine Schlitzung mit einer einzigen Bewegung eines Spezialwerkzeugs zu schneiden. Die Fertigung eines Zinkens muss in drei Schritte unterteilt werden: Zwei Schlitze mit einem Sägeblatt und eine Fräsung, um die übrigbleibende Ecke zwischen den beiden Sägeblättern zu entfernen. Mit einem Vakuumsack ist es möglich, gleichmässigen Druck auf das verzahnte Element auszuüben, während die Form des Sacks an jede gewünschte Kurve angepasst werden kann. Der Vakuumsack übernimmt dabei nur noch die Druckausübung einer Formlehre, während die Formdefinition in das Material übertragen wird.

Die Zipshape-Methode veranschaulicht emblematisch, wie eine neue Konstruktion und sogar eine neue Ästhetik durch das Verschieben wirtschaftlich wesentlicher Prozessschritte aus der Materialverarbeitung in die Informationsverarbeitung entstehen kann. Dennoch bleiben die wesentlichen Faktoren für die Umsetzbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Methode auf der Seite des Stoffumsatzes, nämlich die werkstoffabhängigen Radien und die Frage nach einer angemessenen Verklebungstechnik[770]. Um diese Methode umzusetzen, mussten weder ausgefeilte Softwarelösungen noch Highend-Werkzeuge erfunden werden.

768 z.B. Topan Form der Firma Glunz AG, Meppen, Deutschland; zum Prinzip vgl. Spannagel 1954, S. 201
769 vgl. Übelhack 2007, S. 59–61
770 Schindler 2008c

Der Schlüssel zu dieser Technik ist die geschickte Verknüpfung bestehender Werkzeuge in Material- und Informationsverarbeitung.





Abb. 128: Fertigungsschritte Zipshape: 1) Einfräsen der 1. Zinkenflanke mit dem Sägeblatt auf der 5-Achs-Fräse, 2) Einfräsen der 2. Zinkenflanke, 3) Manuelles Fügen der Platten und Verleimung im Vakuumsack (Fotos 1–2: Bach Heiden AG, Hansueli Dumelin, Foto 3: Robert Aimer)



Abb. 129: Anwendungsbeispiel 1: Zipchaise, 2007 (Foto: Autor)



Abb. 130: Detail Zipchaise (Foto: Autor)



Abb. 131: Anwendungsbeispiel 2: Kleinserie Ziprocker, 2008 (Foto: Autor)



Abb. 132: Detail Ziprocker (Foto: Robert Aimer)

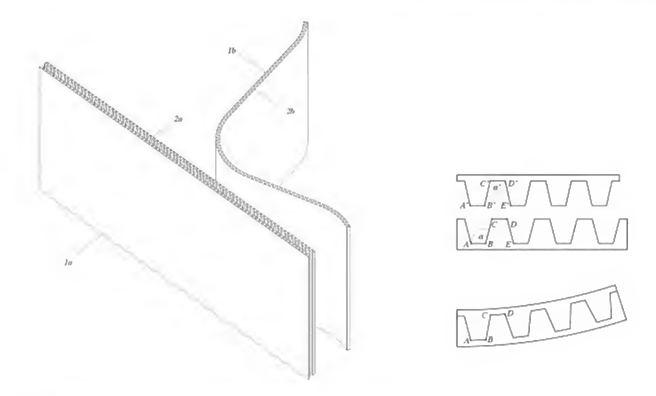


*Abb. 133: Axonometrie der beiden Platten vor (1a, 2a) und nach (1b, 2b) dem Fügen.
Gut sichtbar sind rechts die unterschiedlichen Geometrien der beiden Platten, die beim Fügen die Krümmung definieren.*



Abb. 134: Ziprocker (Foto: Kyeni Mbiti)

6 Vergleichende Betrachtung

Or has he by way of the language caught the German mania for name-giving,
dividing the Creation finer and finer, analyzing, setting namer more hopelessly apart from named,
even to bringing in the mathematics of combination,
tacking together established noms to get new ones,
the insanely, endlessly diddling part of a chemist whose molecules are words...

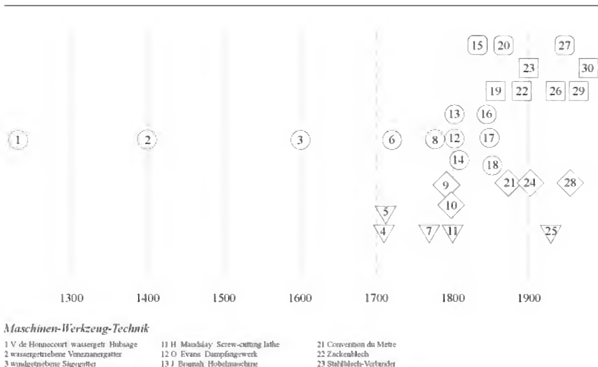
Thomas Pynchon, Gravity's Rainbow[771]

In den Kapiteln 3 bis 5 habe ich Zusammenhänge zwischen Architektur und dem in Kapitel 2 vorgestellten Modell gezeigt. Wie in Kapitel 3.1 formuliert, geht es dabei in erster Linie um fertigungstechnische und baukonstruktive Aspekte, die ich in diesem Kapitel in einem Überblick mit etwas Abstand noch einmal aufgreifen will.

6.1 Verankerung der Zäsuren auf der Zeitachse

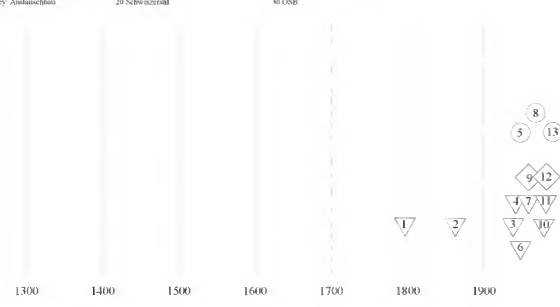
Entsprechend den drei Systemen von Fertigungstechnik habe ich in den Kapiteln 3 bis 5 drei unterschiedliche Arten von Werkzeugen identifiziert: In der Hand-Werkzeug-Technik sind es Äxte/Beile, Sägen und Hobel, in der Maschinen-Werkzeug-Technik Sägegatter, Kreissäge, Bandsäge und Hobelmaschine und in der Informations-Werkzeug-Technik die numerisch gesteuerten Fräsen und Abbundmaschinen. Alle diese Werkzeuge sind in ihren Prinzipien konsistent und existieren heute alle nebeneinander, obwohl sie weit auseinanderliegenden Zeitpunkten entstammen.
In Kapitel 2.3.6 wurden nicht die drei Systeme der Fertigungstechnik definiert, sondern die zwischen ihnen liegenden Zäsuren. Ich habe die drei Systeme in Kapitel 2.3.7 explizit nicht als aufeinanderfolgende Stufen, sondern als ineinander übergehene Wellen dargestellt. Wenn ich also versuchen will, das Modell auf einer Zeitachse zu positionieren, kann es nicht darum gehen, für die verschiedenen Systeme von Fertigungstechnik einen Beginn und ein Ende zu markieren. Die Frage nach den Zäsuren ist vielmehr, ob und wie sich feststellen lässt, wo sich die Steigung der Wellen abrupt ändert. Unter diesen Vorzeichen werfe ich nun einen Blick auf die angesprochenen Fakten aus der Geschichte des Holzbaus.

771 Pynchon 1973, S. 391



Maschinen-Werkzeug-Technik

1 V. de Honnecourt: wassergetr. Hubsäge
2 wassergetriebene Venezianergatter
3 windgetriebene Sägegatter
4 A. Darby: Eisenerzverhüttung
5 T. Newcomen: atm. Dampfmaschine
6 eiserne Bundgatter
7 J. Watt: Niederdruckdampfmaschine
8 S. Miller: Kreissäge
9 Entwicklung des metrischen Systems
10 E. Whitney: Austauschbau
11 H. Maudslay: Screw-cutting lathe
12 O. Evans: Dampfsägewerk
13 J. Bramah: Hobelmaschine
14 J. Reed: Drahtstiftmaschine
15 A. Taylor: Balloon Frame
16 Combettes: Fräse
17 T. B. Jordan: Kopierfräse
18 Perin: Bandsäge
19 Einlassdübel
20 Schweizerstil
21 Convention du Metre
22 Zackenblech
23 Stahlblech-Verbinder
24 Nationale Normenausschüsse
25 Harnstoff-Formaldehyd-Leim
26 M. Himmelheber: Spanplatte
27 Holzrahmenbau
28 Internationales Einheitensystem SI
29 MDF
30 OSB



Informations-Werkzeug-Technik

1 J.-M. Jacquard: Lochkarten-Webstuhl
2 M. Fourneaux: Pianola
3 K. Zuse: Z3
4 Mauchly / Eckert: ENIAC
5 J. Parsons: NC-Fräsmaschine
6 W. Shockley: Transistor
7 J. Kilby: Integrierter Schaltkreis
8 NC-Werkzeugwechsler
9 RS 274 (EIA)
10 IBM 4004: Microchip
11 IBM Winchester Disk: Festplatte
12 DIN 66025
13 Bauwerk: Abbundmaschine

Abb. 135: *Innovationsdichte in Maschinen- und Informations-Werkzeug-Technik von:*

- ◯ *Holz-Konstruktionen*
- ☐ *Holztechnik-Produkte*
- ◯ *Holzbearbeitungsmaschinen*
- ◇ *Normen*
- ▽ *Allgemeinen Erfindungen*

6.1.1 Perspektive ‹Innovationsdichte›

Eine erste Perspektive lässt sich gewinnen, wenn man die gesammelten Fakten auf einer Zeitachse anordnet und prüft, ob es Punkte gibt, an denen eine plötzliche Verdichtung von Ereignissen auf einen Innovationsschub hinweist.
Es fällt sowohl bei der Maschinen-Werkzeug-Technik als auch bei der Informations-Werkzeug-Technik auf, dass sich ein fertigungstechnisches Prinzip über einen langen Zeitraum anbahnt, ehe es eine solche Verdichtung von Ereignissen gibt. Man kann nun vermuten, dass an diesen Stellen entweder durch ‹Basisinnovationen›[772] neue Bereiche der Technik erschlossen werden konnten oder verschiedene Faktoren sich gegenseitig befruchteten. Aus der grafischen Darstellung stechen bei der Maschinen-Werkzeug-Technik eine Verdichtung Ende des 18. Jahrhunderts (beginnend mit Watts Niederdruckdampfmaschine 1767) sowie die Erfindung des wasserfesten Harnstoff-Formaldehyd-Leims 1929 hervor, auf die unmittelbar Werkstoff- und Konstruktionsentwicklungen folgen. Inbesondere der Innovationsschub im Bauwesen durch den wasserfesten Leim überrascht: Während die Dampfmaschine oftmals als Basisinnovation der ‹Industriellen Revolution› gefeiert wird, berücksichtigt man die architekturgeschichtliche Bedeutung des Klebstoffs (mit Ausnahme spezifischer Fachliteratur[773]) für die Entwicklung der Holzwerkstoffe kaum, obwohl alle heute relevanten Konstruktionen im Holzbau darauf aufbauen. Bei der Informations-Werkzeug-Technik ist es deutlich und wiederum wenig überraschend die Erfindung des Transistors 1947, die einen Entwicklungsprozess anregt.
Versucht man nun, aus der Perspektive der Innovationsdichte die Zäsuren der Entwicklungswellen zu modellieren, deuten die ausgewählten Ereignisse darauf hin, dass die Welle der Maschinen-Werkzeug-Technik mit der Niederdruckdampfmaschine und die Welle der Informations-Werkzeug-Technik mit dem Transistor zu steigen beginnt. Ein Abflachen der Wellen lässt sich dagegen weniger auf einen Zeitpunkt fixieren.

6.1.2 Perspektive ‹Umsatz›

Schwieriger gestaltet sich die Frage nach den Zäsuren, wenn wir nach der Menge des Umsatzes fragen. Deutlich kann man den steigenden Umsatz der Schnittholzproduktion durch die Maschinen-Werkzeug-Technik nachvollziehen, wie er in Kapitel 4 dargestellt ist. Wohin legt man nun den Punkt, an dem die Umsatzkurve steigt? Zu Beginn der Mühlendiversifikation, also zu Villard de Honnecourt ins 13. Jahrhundert? Lässt man sie mit dem Venezianergatter

772 Schumpeter 1961 prägte den Begriff der Basisinnovationen, wobei er offen liess, was zu deren Entstehung und damit zu einer neuen Konjunkturwelle (‹Kondratjev-Zyklus›) führt. Für ihn war hierbei nicht die Entdeckung einer Basisinnovation ausschlaggebend, sondern deren breiter Einsatz und die dadurch ausgelöste Konjunkturwelle.

773 vgl. Zeppenfeld und Grunwald 2005, S 1; Darstellung des Autors in Kraft und Schindler 2009b

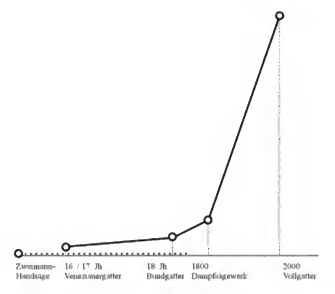


Abb. 136: Umsatzsteigerung der Schnittholzerzeugung; Angaben aus Kapitel 4 übernommen

im 16. und 17. Jahrhundert beginnen, weil dort die ersten quantitativen Aussagen vorliegen? Verläuft sie stetig zwischen den quantitativ belegten Punkten? Setzen wir diese Angaben unter Vorbehalt grafisch um, können wir die vorsichtige Aussage treffen, dass die grösste Umsatzsteigerung in der Schnittholzproduktion ab 1802 mit den Dampfsägewerken zu Beginn der Industriellen Revolution erfolgt. Die ‹zweite Zäsur›, die Schwelle zur Informations-Werkzeug-Technik, lässt sich über den Umsatz der Schnittholzverarbeitung nicht belegen. Dies hängt damit zusammen, dass das wirtschaftliche Potential der zweiten Zäsur nicht in einer Umsatzsteigerung, sondern in einer Prozessoptimierung im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Verringerung der Rüst- und Nebenzeiten besteht[774].

6.1.3 Perspektive ‹Stil›

Die Gliederung der Architekturgeschichte aus einem kunstgeschichtlichen Blickwinkel in formale ‹Stile› ist eine Methode des 19. Jahrhunderts[775], die heute (wie auch Cellarius' Einteilung in Altertum–Mittelalter–Neuzeit) zwar etwas befremdlich wirkt, aber als Verständigungsmittel noch immer unentbehrlich ist[776]. In den 1930er Jahren war man bemüht, Architekturen, die ihre Erscheinung unter anderem aus der Anwendung fertigungstechnischer Mittel gewannen, als ‹Internationaler Stil› in die Reihe der kunstgeschichtlichen Stilbegriffe einzuordnen[777].

---

774 Spur 1991, S. 536

775 Riegl 1893, Wölfflin 1923

776 Koch 2006

777 «Mr Hitchsock and Mr Johnson have studied contemporary architecture with something of the scholary care and critical exactness customarily expended upon Classical or Medivial periods. This book presents their conclusions, which seem to me of extraordinary, perhaps of epoch-making, importance. For they have proven beyond any reasonable doubt, I believe, that there exists today a modern style as original, as consistant, as logical, and as widely distributed as any in the past. The

Ganz abwegig ist die Stil-Frage in Verbindung mit Fertigungstechnik nicht, wenn wir die Definitionen in Kapitel 2 genau nehmen und Decoupiersäge und Kopierfräse aus dem Begriff der Maschinen-Werkzeug-Technik ausschliessen – denn dann lässt sich die Tatsache, dass die Maschinen-Werkzeug-Technik keine Informationen verarbeitet, mit einer ornamentlosen funktionalistischen Ästhetik in Verbindung bringen. Die Vereinigung des Stoff-, Energie- und Informationsumsatzes hingegen scheint sowohl in der Hand-Werkzeug-Technik als auch in der Informations-Werkzeug-Technik ein pluralistisches Feld von Gestaltungsmöglichkeiten zu öffnen, dass sich kaum unter formalen Kriterien fassen lässt. Was bleibt, ist die Epoche der Maschinen-Werkzeug-Technik als ein formaler Sonderfall, für die im Holzbau Ballon Frame 1832 und General Panel System 1941 als Rahmen dienen könnten. Ob dies für eine zeitliche Verankerung ausreicht, erscheint fraglich.

Übergänge statt Zäsuren?

Wir haben nun verschiedene Sichtweisen betrachtet, die für den (am besten dokumentierten) Übergang von der Hand- zur Maschinen-Werkzeug-Technik jeweils zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen: Die Perspektive ‹Innovationsdichte› erkennt eine Zäsur 1767, eine deutliche ‹Umsatz›steigerung lässt sich ab 1802 feststellen und der ‹Stil› der Gebäude ändert sich ab 1832. Während es also schwerfällt, die Zäsuren in der Fertigungstechnik des Holzbaus auf der Zeitachse exakt zu fixieren, überrascht die Deutlichkeit, mit der uns die drei vorgestellten Systeme von Fertigungstechniken in Form von drei Maschinentypen vor Augen treten; und dabei insbesondere das statische Festhalten an einmal entwickelten Prinzipien der spanenden Verarbeitung: Trotz unendlich vieler individueller Spielformen des Werkzeuginventars der holzverarbeitenden Gewerbe ist die grundsätzliche Form der Säge seit mehreren tausenden Jahren im Holzbau etabliert, die Kreissäge seit etwa 230 Jahren, die Bandsäge seit 200 Jahren und das Prinzip der NC-Fräse seit 60 Jahren[778].

Dies bestätigt das eingangs gewählte Bild der Wellen und die Vermutung, dass neue technische Entwicklungen sich nicht ablösen, sondern sich gegenseitig überlappen, verstärken und vervollständigen. Eine neue Fertigungtechnik beendet jeweils die Dominanz, nicht aber die Existenz einer älteren Fertigungstechnik[779]. Somit sollten die ‹Zäsuren› in der Fertigungstechnik entsprechend des Wellenbildes im Sinne von weichen, phasenhaften Übergängen verstanden werden, in deren Bereich sich die Relevanz-Kurven zweier Fertigungstechniken kreuzen.

authors have called it the International Style.»
Vorwort des Kunsthistorikers Alfred H. Barr Jr. (1. Direktor des Museum of Modern Art, New York) in Hitchcock und Johnson 1932, S. 11ff.

778 vgl. Ettelt und Gittel 2004, S. 10, Radkau 2007, S. 83, Gerner im Vorwort zu Schadwinkel 1986, S. 20 und S. 36, Buchhaupt 1999, S. 143

779 Paulinyi 1989, S. 237

6.2 Fertigungstechnik im Wandel

Abschliessend soll noch der Versuch gewagt werden, drei grosse Linien durch die Geschichte des Holzbaus zu skizzieren, um aus deren Verlauf eine Basis für einen Ausblick zu gewinnen: den Wandel der Werkstoffbeschaffenheit, des Informationsbegriffs und der Prozessgestaltung.

6.2.1 Wandel der Werkstoffbeschaffenheit

In der Entwicklung der Fertigungstechnik durchlebt nicht nur die Maschine, sondern auch das Holz als Halbzeug einen Evolutionsprozess. In der Hand-Werkzeug-Technik bestimmte das organisch gewachsene Holz die Konstruktion: Die Stabgeometrie, seine anisotrope Beschaffenheit durch die Faserrichtung und die Inhomogenität durch Astigkeit und Risse waren determinierend für den Umgang mit Holz. Gekrümmte Hölzer wurden (im Schiffbau sogar bewusst) gekrümmt verbaut, die Dimension des Stammes bestimmte die Dimension des Bauteils und Unregelmässigkeiten wie Astgabeln konnten für Verbindungen genutzt werden. Die ersten Werkzeuge, die Äxte und Beile, folgten beim Spalten der Faserrichtung des Holzes; einer holzspezifischen Eigenschaft, die in anderen Werkstoffen keine Entsprechung findet[780]. Mit der ‹grausamen›, weil die Faserrichtung nicht berücksichtigenden Handsäge wird schon in der Hand-Werkzeug-Technik ein Weg Richtung Homogenisierung eingeschlagen, der sich bis heute fortsetzt. Die Sägegatter der Maschinen-Werkzeug-Technik ermöglichen es, geometrisch austauschbare Profile herzustellen. Leistungsfähige Klebstoffe schliesslich erlauben es, das Holz in immer kleinere Strukturelemente aufzulösen und mit neuen Eigenschaften zusammenzufügen – als stabförmigen Brettschichtholzträger, oder sogar als Holzwerkstoffplatten auf Basis von Furnieren (Sperrholz) über Späne (Spanplatte) schliesslich zu Fasern (MDF), die kaum noch etwas mit dem Organismus des Baumes zu tun haben. Dafür aber werden die Eigenschaften des so verwandelten Holzes vorhersagbar, beherrschbar, klassifizierbar, normierbar und berechenbar – ganz im Sinne des Newton'schen Weltbildes. So ist es möglich, diesen rechnerisch überprüfbaren ‹neuen› Werkstoffen von der ‹bekleidenden Platte› bis zur ‹tragenden Platte› alle Aufgaben im Baugefüge zu übertragen.
Ein weiterer Schritt ist schliesslich die freie geometrische Bearbeitung mit Maschinen der Informations-Werkzeug-Technik, wodurch die Holzwerkstoffe zu Ausschneidebögen für individuelle Bauteile werden. Dabei sind die Maschineneigenschaften wie deren Arbeitsfläche oder Freiheitsgrade entscheidend. Es geschieht etwas Eigenartiges: Der Begriff der Holzbearbeitung beginnt sich vom Werkstoff Holz zu lösen. Er orientiert sich eher an einer Klasse

780 Karmarsch 1875 Bd 1, S. 606:
«…vermöge seiner eigentümlichen, ausgezeichnet faserigen Gestalt das Holz in manchen Fällen durch Spalten bearbeitet werden kann, wofür sich in der Metallverarbeitung nichts entsprechendes findet.»

von Fertigungsverfahren und Werkstoffeigenschaften als an seinem namensgebenden Werkstoff selbst[781]. Die Entkoppelung der Holzwerkstoffe vom Organismus des Holzes setzt sich also in der Informations-Werkzeug-Technik fort, bis es zu einem klassifizierbaren, abstrakten «Kunststoff»[782] wird, aus dem nahezu jede beliebige Form gefertigt werden kann. Während zu Beginn der Entwicklung der Fertigungstechnik das Werkzeug dem Holz folgt, ist es nun das Holz, das dem Werkzeug folgt.
Innerhalb der Platten, also in der Konsistenz dieses ‹Kunststoffs› selbst, lässt sich aber eine Entwicklung zurück zum organischen Vollholz beobachten, die in den 1970er Jahren mit den langen Spänen des OSB beginnt und sich seit Ende der 1980er Jahre mit verschiedenen Werkstoffen auf Vollholzbasis wie den Massivholzplatten oder Brettschichtholzträgern fortsetzt. Es ist nun interessant, die Parallelität von Werkstoff und Weltbild weiterzutreiben und in den Werkstoffen auf Vollholzbasis Systeme zu sehen, bei denen das Gesamtverhalten betrachtet wird, während man die Einzelkomponenten als nicht im Detail beschreibbares Element belässt.

6.2.2 Wandel des Informationsbegriffs

Der Umgang mit ‹Information› – und im weiteren Sinne mit den zu ihrer Übermittlung verwendeten Symbolen und deren Gebrauch – hat über die Geschichte der Holzbearbeitung einen tiefgreifenden Wandel erlebt, wie er nur mit etwas Abstraktem möglich ist, was «not matter or energy»[783] ist. Diesen Wandel will ich an den drei Wellen von Fertigungstechniken zeigen und dabei jeweils die Perspektive der Fertigungsbeschreibung (Welcher Art sind die Informationen, nach denen gefertigt wird?) und der Logistik (Welcher Art sind die Informationen, die die Bauteile eindeutig kennzeichnen?) ansprechen.

Hand-Werkzeug-Technik: Deskriptiver Symbolgebrauch
In der Hand-Werkzeug-Technik gibt es zwischen einem aufgezeichneten Grundriss, wie wir ihn in Kapitel 3 auf Abb. 45 beim Schul- und Schützenhaus in Elsau gesehen haben, und den tatsächlichen Fertigungsanweisungen an die Zimmerer kaum einen Zusammenhang. Der Fertigungsprozess beginnt gewissermassen mit dem 1:1 Aufriss der Konstruktion auf dem Schnürboden, der von dort direkt in das Material übertragen wird. Die Übermittlung von Abmessungen durch ein einheitenloses, relatives Massnehmen setzt sich in der Detaillierung fort. Die Informationsübertragung erfolgt in der Fertigung der Hand-Werkzeug-Technik vor allem zeichnerisch und ohne den Gebrauch von Symbolen. Zwischen der Information in Form von

781 Schindler 2008b, S. 1314
782 Deplazes 2008, S. 82
783 Wiener 1948, S. 155

aufgezeichneten Rissen auf dem Schnürboden oder den Bauteilen selbst und der Fertigung durch den Zimmermann wechselt die Information über eine visuelle Rezeption des Auges in das geschlossene menschliche Nervensystem und wird von dort durch elektrische Signale an die werkzeugführende Hand übertragen. Diese numerisch bislang nicht erfassbare Schnittstelle bezeichnen wir etwas hilflos als ‹Augenmass›.

Für die eindeutige Kennzeichnung der Bauteile mit den Abbundzeichen werden hingegen Symbole eingesetzt. Dabei hat es auf die Kennzeichnung wiederum keinen Einfluss, wie lang oder breit ein Bauteil ist. Die Symbole auf den Bauteilen beschreiben, an welcher Stelle im Gebäude es eingesetzt wird und welches seine Nachbarteile sind. Da sie nicht zum Rechnen gebraucht wurden, hätten die mittelalterlichen Zimmerleute an Stelle von Zählreihen und römischen Ziffern genausogut Buchstaben oder Bilder verwenden können. Wir haben es in der Hand-Werkzeug-Technik mit einem ‹deskriptiven Symbolgebrauch› zu tun.

Maschinen-Werkzeug-Technik: Normativer Symbolgebrauch

Der Symbolgebrauch in der Fertigung der Maschinen-Werkzeug-Technik ist von einem einheitlichen Masssystem bestimmt, auf dessen Grundlage Vereinbarungen über Masstoleranzen und Werkstoffeigenschaften verbindlich getroffen werden. Es erfolgt also eine Normung auf zwei Stufen: Erstens die Normung des Masssystems selbst (Convention du Mètre, Système international d'unités) und zweitens die Normung verschiedenster Eigenschaften (Nationale Normenausschüsse). Kapitel 4 hat gezeigt, dass die Maschinen-Werkzeug-Technik sich diese Grundlage schaffen musste, um das Prinzip des Austauschbaus umsetzen zu können.

In der Fertigung der Maschinen-Werkzeug-Technik selbst wird Information nicht maschinell verarbeitet; alle Angaben werden manuell auf der Grundlage genormter Vereinbarungen in den Maschineneinstellungen fixiert und von dort in dort auf das Werkstück übertragen. Dementsprechend gibt es in der Logistik der Maschinen-Werkzeug-Technik keine individuelle Kennzeichnung, denn die Bauteile einer Klasse sind bei Erfüllung der Vorgaben austauschbar. In der Bauteilkennzeichnung werden die Informationen vermerkt, anhand derer sich bestimmen lässt, ob ein Bauteil an einer davor vorgesehenen Stelle eingebaut werden kann oder nicht. Besonders ausgeprägt ist dies im Stahlbau: Ein genormtes Stahlprofil wird beispielsweise als ‹HEB 300 St 37› beschrieben. Dabei kennzeichnet ‹HEB› die Form des Profils, ‹300› die Bauteilhöhe in der Masseinheit Millimeter und ‹St 37› eine Stahlqualität entsprechend EN 10025-2. Wenn auch im Holzbau die Bauteilabmessungen nicht genormt sind, so gibt es ebenso Vereinbarungen über Toleranzen (z.B. für Brettschichtholz DIN EN 390) und Festigkeitsklassen (DIN 1052). Hinter der Bezeichnung ‹GL28h› verbirgt sich ein Träger aus homogenem (‹h›) Brettschichtholz (GL steht für ‹Glue Laminated Timber›) mit einer zulässigen Biegespannung von 28 N/mm^2.

Die Bezeichnungen referenzieren also nicht relativ auf andere Bauteile, sondern jeweils auf eine absolute Vereinbarung in einer Norm. Die Information wäre aber identisch, wenn sie als ‹Gluelaminatedachtundzwanzighomogen› mit alphabetischen, nicht-arithmetischen Zeichen gesetzt wäre. In der Maschinen-Werkzeug-Technik können wir von einem ‹normativen Symbolgebrauch› sprechen[784].

Informations-Werkzeug-Technik: Operativer Symbolgebrauch

Die Informations-Werkzeug-Technik baut in ihrem Symbolgebrauch unmittelbar auf der Maschinen-Werkzeug-Technik auf. Sowohl das Mass-System als auch die Normen, die für die Maschinen-Werkzeug-Technik galten, sind Grundlage für die Informations-Werkzeug-Technik und gewinnen durch die Zunahme an Fertigungspräzision noch an Bedeutung.
Die Fertigungsinformationen im NC-Programm referenzieren aber nicht nur auf ein Masssystem, sondern auch auf damit operierende Rechenregeln. Mit einer kurzen Wegbedingung wie beispielweise ‹G02› (Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn) wird ein Rechenverfahren aufgerufen, dass auf der Grundlage von wählbaren Parametern (Anfangs- und Endpunkt, Radius, Drehsinn) Stützpunkte auf einer kreisförmigen Bahn ermittelt und mit dem Werkzeug anfährt. Werden die NC-Programme mit Hilfe des Postprozessors einer CAM-Software generiert, sind sie wiederum nach softwarespezifischen Regeln an die dort definierte Geometrie des Werkstücks gekoppelt. Zusätzlich zu den geometrischen Weginformationen werden mit den M-Funktionen des NC-Programms in der Maschine Algorithmen aufgerufen, die Vorschubgeschwindigkeit, Werkzeugwechsel oder Werkstückfixierung in Abhängigkeit von der Geometrie des Werkstücks steuern. Hinter jeder G- oder M-Funktion verbirgt sich also eine vordefinierte Kette von Handlungsanweisungen an die Maschine.
Die Bezeichnung von Bauteilen in der Informations-Werkzeug-Technik kombiniert die Angaben von Hand-Werkzeug-Technik und Maschinen-Werkzeug-Technik: Ausgangspunkt der Bauteilbeschreibung sind nach wie vor die genormten Masstoleranzen und Werkstoffeigenschaften. Durch die Möglichkeit der Fertigung individueller Bauteile werden aber auch die Angaben zur Position im Bauwerk und den Relationen zu den Nachbarteilen wieder relevant, ganz ähnlich wie in der Hand-Werkzeug-Technik. Was also im Digitalen aus dem Handwerk wiederkehrt, ist ein Denken in Relationen.
Kennzeichnend für den Gebrauch von Information in der Informations-Werkzeug-Technik ist mit den Worten der Medienhistorikerin Sybille Krämer (*1951) der «schematische, interpretationsfreie Umgang mit schriftlichen Symbolen»[785], den sie als einen ‹operativen Symbolgebrauch› bezeichnet. Dieser operative Symbolgebrauch in der Fertigung erweitert das allge-

784 Dieser Begriff ist auf den Fertigungsprozess beschränkt: Querschnittoptimierungen durch statische Verfahren werden seit dem 19. Jahrhundert mit algorithmischen Verfahren berechnet, wobei die Symbole – sowohl für geometrische Abmessungen als auch physikalische Werkstoffeigenschaften – operativ gebraucht werden.

785 Krämer 1988, S. 176

meine deduktive System von genormten Einheiten der Industrialisierung zu einem variablen mathematischen System, dessen Komponenten wie mit Gummibändern aneinanderhängen. Digitale Fertigung referenziert also nicht nur auf ein vereinbartes Masssystem, sondern auch auf damit operierende interpretationsfreie Verknüpfungen in Form von Rechenregeln, die es ermöglichen, die Aussagen miteinander in Beziehung zu setzen. Dies ist der Kern des Neuen in der maschinellen Informationsverarbeitung.

6.2.3 Wandel der Prozessgestaltung

Als letzter Punkt soll noch einmal die Prozessgestaltung aufgegriffen haben, wie ich sie in Kapitel 2.3.6 angesprochen habe. Dort hiess es, dass mit jeder Technikstufe der Aufwand der Vorbereitung und Abstimmung einer technischen Einrichtung zunehme. Dies ist anhand der Fakten gut nachvollziehbar:
In der Hand-Werkzeug-Technik wurden die drei Ströme Stoff, Energie und Information vorbereitet, indem Handwerker angestellt, gegebenenfalls Werkzeuge beschafft und Werkstoffe eingekauft wurden; ein Plan musste dabei nicht notwendigerweise gezeichnet werden. In welcher Art diese drei Ströme im Fertigungsprozess verknüpft waren, konnte kurzfristig abgestimmt werden und blieb auch weitgehend im Entscheidungsspielraum des einzelnen Handwerkers. Die Schnittstellen im Baugefüge, die direkt koordiniert werden mussten, waren die Verbindungspunkte von jeweils zwei Bauteilen. Allerdings dauerte der Produktionsprozess selbst sehr lange.
Die Maschinen-Werkzeug-Technik verlangte schon deutlich mehr planerische Koordination. Zunächst ist der Bau und die Beschaffung einer Maschine aufwändiger, anspruchsvoller und auch kostenintensiver als der Bau eines Handwerkzeugs. Die Maschinen und ihre Bediener waren viel spezialisierter als die Handwerker, und so stieg die Zahl der Kommunikationsschnittstellen unwillkürlich an. Diese Kommunikation ist durch den normativen Symbolgebrauch bestimmt: Vereinbarungen müssen getroffen werden, damit die Arbeitsergebnisse der vielen verschiedenen Beteiligten zueinander passen.
Bei der Informations-Werkzeug-Technik schliesslich steigt die Zahl der zu koordinierenden Schnittstellen noch einmal an, denn nun müssen auch die formalisierten Informationsschnittstellen zwischen den verschiedenen Programmen und Maschinen für den nunmehr operativen Symbolgebrauch aufeinander abgestimmt werden. Es ist also keineswegs so, dass in der Entwicklung der Fertigungstechnik menschliche Leistung durch Maschinen ersetzt wird; vielmehr verlagern sich die Anforderungen zur Koordination maschineller Prozesse, wodurch die Fertigung schneller, die Arbeitsvorbereitung jedoch anspruchsvoller und bedeutsamer wird, wodurch aber auch ihr Wert steigt.

Da alle drei Typen von Fertigung sich gegenseitig bedingen, gehört zur Beherrschung der Stufe, auf der man gerade steht, immer die Kenntnis der darunterliegenden Techniken.
H. B. Newbold beschreibt 1926 die Wissensintegration der Hand-Werkzeug-Technik in die Maschinen-Werkzeug-Technik: «For the carpenter and joiner is degraded into a machine-minder; he remains a craftsman who must not only be thoroughly competent to use his hand tools at the bench, but also understand the nature of machine work and the new duties it had introduced in every phase of his business»[786]. Diese Haltung setzt sich in der Informations-Werkzeug-Technik fort: «In der Folge wächst tatsächlich das Aufgabenvolumen der Arbeitsvorbereiter und in gleichem Masse auch das notwendige Wissen für die Bearbeitung aller erforderlichen Teile des gesamten Planungs- und Produktionsprozesses.»[787] Der Holztechniker ist heute gleichermassen Handwerker, Maschinist und Informatiker. Diese drei Ebenen sind nicht länger voneinander zu trennen: «Denn Entscheidungen, die bereits auf der CAD-Ebene getroffen werden, erfordern auch Kenntnisse der nachgeordneten Maschinen-Programme (WOB), technische Informationen über benutzte Werkzeuge, Erfahrungen über optimale Produktionsabläufe sowie Kenntnisse der spanungstechnologischen Bedingungen für die erforderliche Oberflächengüte.»[788]
Da die Architekten – zu denen ich mich zähle – diejenigen sind, die die Strukturen auf der CAD-Ebene initiieren und an die ausführenden Betriebe weiterleiten, müssen sie sich wie der Holztechniker ein vielschichtiges Wissen über die gesamte digitale Prozesskette aneignen, wenn sie dieser nicht nur als Ideengeber vorstehen, sondern in die Kette eingebunden sein und sie sich gestalterisch zu Nutze machen wollen. Die Arbeit mit der Informations-Werkzeug-Technik bedeutet zunächst einen Zuwachs an Wissensebenen. Um ein Gebäude planen und bauen zu können, benötigt man Kenntnisse aus der Fertigungstechnik über Materialien (Hand-Werkzeug-Technik), daraus maschinell gefertigte Halbzeuge und Standardprodukte (Maschinen-Werkzeug-Technik) sowie die Struktur der zur Ansteuerung der Maschinen notwendigen Informationen (Informations-Werkzeug-Technik).

786 H.B. Newbold, Modern Carpenters and Joiners, 1926 Vol 1, S. 60, zitiert in: Louw 1996, S. 36
787 Behre [et al.] 2005, S. 6
788 Zander 2008, S. 146

Andererseits ändert sich dadurch das Verhältnis zwischen Entwurf und Fertigung. Der Architekturtheoretiker Jörg Gleiter (*1960) hält im Kontext der Diskussion des ‹Neuen Ornaments› fest, «die digitalen Werkzeuge, die nicht mehr analogen sondern algorithmischen Regeln folgen, heben die Trennung zwischen dem ‹intellectual act of design› und dem ‹material act of building› zusehends auf»[789] und führen zu einer interaktiven Verknüpfung der Entwurfs- und Konstruktionsverfahren. Natürlich fand auch zur Umsetzung von Entwürfen in der Hand- und Maschinen-Werkzeug-Technik eine ‹interaktive› Informationsübermittlung zwischen dem Zeichnenden und dem Bauenden statt.
Der springende Punkt ist aber, dass Information in der Informations-Werkzeug-Technik – wenn sie einmal erzeugt ist – dank ihrer formalisierten Beschreibung weitergeleitet, umgewandelt und bis zum NC-Code zur Ansteuerung der Maschine verarbeitet werden kann, ohne dass sie wie bisher in Form von Werkstattplänen o.ä. ständig von neuem gezeichnet und auf diese Weise in Frage gestellt, verifiziert und bereinigt wird. Dadurch können wir als Architekten einerseits präziser als jemals zuvor beeinflussen, was und wie tatsächlich gebaut wird[790]. Eine Einbettung des Entwerfers in die digitale Prozesskette bedeutet andererseits nicht nur einen Zuwachs an gestalterischen Möglichkeiten, sondern beinhaltet – je nachdem, bis zu welcher Detaillierung geplant wird – einen bislang kaum diskutierten Zuwachs an Verantwortung und Haftung für die erzeugten Daten.

789 Gleiter 2008, S. 83

790 vgl. Brendeland und Kristoffersen 2009.
«Wir fertigen die Werkstattzeichnungen für die Fräse betriebsintern, um den grösseren Einfluss auf die Qualität des Gebäude nutzen zu können. Unserer Ansicht nach ist dies eine der interessantesten Eigenschaften der Massivbauweise im Vergleich zu herkömmlichen Holzrahmenkonstruktionen und anderen in situ Bauweisen.»

7 Ausblick

Every technology contrived and outered by man
has the power to numb human awareness
during the period of its first interiorization.
Marshall McLuhan[791]

Während Anfang des 20. Jahrhunderts Erkenntnisse in der Physik und Chemie dazu führten, die Natur nicht länger als ein berechenbares mathematisches Modell zu betrachten und sich die Naturwissenschaften nun über die Biologie den Phänomenen auf der Ebene des Verhaltens näherten, hat es in der Geschichte der Fertigungstechnik den grossen Paradigmenwechsel nicht gegeben. Wir arbeiten mit Strukturen und Definitionen, die wir mindestens bis in die 1960er Jahre, wenn nicht sogar bis ins 18. Jahrhundert zurückverfolgen können. Insofern kann man Informations-Werkzeug-Technik als eine konsequente Fortentwicklung und Teil einer industriell-mechanischen Fertigung verstehen, die mit den an der Biologie orientierten Fragestellungen und Methoden im naturwissenschaftlichen Diskurs ab dem 20. Jahrhundert wenig gemein hat. Aus dem Blickwinkel der Architektur ist dieser biologische Diskurs relevant, weil seine Methoden auf Planungsebene in Form von generativen Entwurfsverfahren und Simulationen künstlicher Systeme Konjunktur haben. Lässt man sich darauf ein, diese nicht als einen Formalismus zu betrachten und zur Maxime der Planungsmethodik zu machen, fällt die Widersprüchlichkeit zur Fertigung ins Auge: Es ist eine groteske Vorstellung, sich auf der Planungsebene mit der Simulation von Morphogenese zu beschäftigen, während man in deren Umsetzung die tatsächlich gewachsenen Organismen zerspant und zu homogenen Platten verpresst.
Es stellt sich nun die Frage nach einem biologischen Materialverständnis. Wie nähert man sich der Fertigung als einem System, in dem der Werkstoff selbst als System verstanden wird? In dem es, wenn wir uns der Kienzle'schen Terminologie des Zusammenhalts zwischen den Teilchen aus Kapitel 2.1.2 bedienen, nicht um Zusammenhalt schaffen, beibehalten, vermindern oder vermehren geht, sondern um ein Organisieren des Zusammenhalts? Dies ist eine Frage, bei der sich alle Disziplinen gegenwärtig noch auf der der Stufe von Grundlagenforschung bewegen. Bedeutet dies, dass die Materie selbst programmierbar wird? Wo sind hier die Ansatzpunkte zu suchen? Sind es die sich seit Anfang der 1990er Jahren entwickelten Rapid Prototyping Verfahren, die sich als ‹generative Fertigungsverfahren› aus der Ecke der

791 McLuhan 1962, S. 153

Prototypenfertigung zu befreien versuchen[792]? Liegt die Zukunft der Fertigung in der Koordination von sandkorngrossen Minirobotern wie etwa Seth Copen Goldsteins ‹Claytronics›, die sich zu beliebigen Formen zusammenschliessen können[793]?
Vielleicht aber sind es nicht die künstlichen Simulationen des Lebens, sondern die bestehenden natürlichen Systeme selbst, die das grösste Potential für die Fertigungstechnik in sich tragen. Dies führt uns geradewegs zu organisch gewachsenen Werkstoffen wie dem Holz und seiner unberechenbaren Strukturbildung. Wäre dann an Stelle der Nanophysik die biologische Verfahrenstechnik und die Veränderung von Materie durch Organismen der vielversprechendste Ansatz – so wie man beispielsweise die akustischen Eigenschaften von Klangholz für den Geigenbau mit holzzersetzenden Pilzen verbessern will[794] oder Holzwerkstoffe mit Hefepilzen und Bakterien wie einen Brotteig zu schäumen versucht[795]? Oder liegt der Ansatzpunkt sogar viel näher bei den gegebenen vielfältigen und schwankenden Eigenschaften des Holzes? Zu diesen in jüngerer Zeit vermehrt diskutierten Abweichungen von der normalen Holzstruktur zählen etwa Sondergewebe wie das Druckholz bei Nadelbäumen bzw. Zugholz bei Laubbäumen als Reaktion auf besondere statische Belastungen[796] oder auch auffallende Faserabweichungen wie der spiralförmige Drehwuchs[797], der dem Stamm erhöhte Zug- und Druckfestigkeit verleiht. Leitet uns ein tieferes Verständnisses der Anatomie des Holzes etwa an, seine natürlichen anisotropen Eigenschaften nicht mehr als ‹Holzfehler›, sondern als Chance für technische Innovationen in der Fertigungstechnik zu begreifen[798]?
Vieles deutet darauf hin, dass in der Fertigungstechnik eine grössere Zäsur denkbar ist als die Übertragung der Informationsverarbeitung vom Menschen auf eine Maschine – nämlich die Ablösung des mechanistischen Weltbilds in der Fertigung. Wenig deutet darauf hin, dass dies in nächster Zeit in grösserem Umfang und in grösseren Masstäben geschehen wird.
Wir dürfen aber gespannt sein, was dies längerfristig für unsere Vorstellung von Fertigungstechnik bedeutet und ob solche ‹biologischen› Fertigungssysteme in der Lage sind, die bestehenden Methoden zu ergänzen oder gar zu ersetzen.

---

792 Kief und Roschiwal 2007, S. 302ff

793 Goldstein [et al.] 2005; Dworschak 2009, http://www.cs.cmu.edu/~claytronics/ (Zugang im Februar 2009)

794 Denzler 2005 über ensprechende Forschungen der EMPA

795 Firma innovation wood (iwood), http://www.iwood.ch (Zugang im Mai 2009), ausgezeichnet mit dem Schweighofer Förderpreis 2003 in der Kategorie Holzprodukte, Holzverwendung, Holzvermarktung

796 Mattheck 1994; Barnett und Jeronimidis 2003, S. 118–136; Thibaut und Gril 2003, S. 144ff; Wagenführ und Scholz 2008, S. 39f

797 Wagenführ und Scholz 2008, S. 40f

798 vgl. den Umriss einer Grundlagenforschung über Druckholz und Drehholz in Wagenführ 2008

8 Anhang

8.1 Literaturverzeichnis

Albin 1991
Albin, Rüdiger [et al.]. *Grundlagen des Möbel- und Innenausbaus : Werkstoffe – Konstruktion, Verarbeitung von Vollholz und Platten, Beschichte Oberflächenbehandlung, Möbelprüfung.* Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verlag, 1991

Affentranger 2001
Affentranger, Christoph. Vom Blockbau zur Vorfabrikation – Entdeckung der Fläche im Holzbau. in: *Zuschnitt* 3, Wien : proHolz Austria, 2001, S. 7ff

Alexander [et al.] 1977
Alexander, Christopher; Ishikawa, Sara; Silverstein, Murray. *A pattern language : towns, buildings, construction.* New York : Oxford University Press, 1977

Ahnert und Krause 2000
Ahnert, Rudolf; Krause, Karl Heinz. *Typische Baukonstruktionen von 1860–1960 : zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz.* 3 Bände. 6. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2000–2002

von Alberti 1957
von Alberti, Hans-Joachim. *Mass und Gewicht : Geschichtliche und tabellarische Darstellungen von den Anfängen bis zur Gegenwart.* Berlin : Akademie-Verlag, 1957

Angélil 1987
Angélil, Marc M. *Technique and formal expression in architecture : theory in architectural technology from the renaissance to the age of reason.* Dissertation ETH No. 8322. Zürich : Juris, 1987

Ashby 1974
Ashby, William Ross. *Einführung in die Kybernetik.* Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1974

Ashton 1950
Ashton, Thomas Southcliffe. *The Industrial Revolution.* Oxford : Oxford University Press 1950

Assmann 1997
Assmann, Jan. *Das kulturelle Gedächtnis : Schrift, Erinnerung und politische Identität in frühen Hochkulturen.* München : Beck, 1997

Aspray 1990
Aspray, William (Hrsg). *Computing before computers.* Ames, Iowa : Iowa State University Press, 1990

Babbage 1832
Babbage, Charles. *On the economy of machinery and manufactures.* London : Knight, 1832

Balkhausen 1978
Balkhausen, Dieter. *Die dritte industrielle Revolution : wie die Mikroelektronik unser Leben verändert.* München : Goldmann, 1978

Balkhausen 1985
Balkhausen, Dieter. *Die elektronische Revolution.* Düsseldorf [etc.] : Econ, 1985

Banse 1997
Banse, Gerhard (Hrsg.). *Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie : Johann Beckmann und die Folgen.* Berlin : Edition Sigma, 1997

Banse und Reher 2002
Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (Hrsg.). *Allgemeine Technologie : Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft.* Symposium der Leibniz-Sozietät und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe Technik und Umwelt am 12. Oktober 2001 in Berlin. Berlin : trafo verlag, 2002

Banse, Meier und Wolffgramm 2002
Banse, Gerhard; Meier, Bernd; Wolffgramm, Horst (Hrsg.). *Technikbilder und Technikonzepte im Wandel – eine technikphilosophische und allgemeintechnische Analyse.* Karlsruhe : Forschungszentrum Karlsruhe – Technik und Umwelt, 2002

Barnett und Jeronimidis 2003
Barnett, John R.; Jeronimidis, George. Reaction wood. in: Barnett, John R.; Jeronimidis, George (Hrsg.). *Wood quality and its biological basis.* Oxford : Blackwell Publishing, 2003, S. 118–136

Barrett 2006
Barrett, Neil. *The binary revolution : the development of the computer.* London : Weidenfeld & Nicolson, 2006

Baudouin 1906
Baudouin, Andreas (Hrsg.) *Die Bauelemente und Konstruktionen für Zimmermeister auf 300 Tafeln.* Wien : Karl Graeser, 1906. Nachdruck Hannover . Schäfer, 1998

Beckmann 1783
Beckmann, Johann. *Beyträge zur Geschichte der Erfindungen.* Leipzig : Paul Gotthelf Kummer, 1783–1786

Beckmann 1787
Beckmann, Johann. *Anleitung zur Technologie oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufakturen, vornehmlich derer, die mit Landwirtschaft, Polizey und der Camerahwissenschaft in nächster Verbindung stehen. Nebst Beyträgen zur Kunstgeschichte.* 3. verb. und verm. Aufl. Göttingen . Vandenhoeck und Ruprecht, 1787

Beckmann 1806
Beckmann, Johann. *Entwurf der algemeinen Technologie.* Nachdruck aus Vorrath kleiner Anmerkungen über mancherley gelehrte Gegenstände, Stück 3, S 463–533, Göttingen 1806. Mannheim : Deutsche Gesellschaft für Warenkunde und Technologie, 1983

Beer 1959
Beer, Stafford *Kybernetik und Management* Frankfurt am Main Fischer, 1959

Bedal 1993
Bedal, Konrad. *Historische Hausforschung · Eine Einführung in Arbeitsweise, Begriffe, Literatur.* Quellen und Materialien zur Hausforschung in Bayern, Bd. 6, Bad Windsheim . 1993.

Behre [et al.] 2005
Behre, Henner; Herchenhahn, Antje; Ludoph, Michael *CAD/CAM-Technologie : Änderungen der Qualifikationsstrukturen in Klein- und Mittelständischen Unternehmen des Holzhandwerks.* Münster . LIT Verlag, 2005

Bell 1973
Bell, Daniel *The coming of post-industrial society : a venture in social forecasting.* New York Basic Books, 1973

Bemis 1933
Bemis, Albert Farwell. *The evolving house Vol. 3: Rational design.* Cambridge : Technology Press, Massachusetts Institute of Technology, 1933

Benad-Wagenhoff, Paulinyi und Ruby 1993
Benad-Wagenhoff, Volker; Paulinyi Akos, Ruby, Jürgen. Die Entwicklung der Fertigungstechnik. in: Wengenroth, Ulrich (Hrsg). *Technik und Wirtschaft.* Düsseldorf : VDI Verlag, 1993

Benad-Wagenhoff 1994
Benad-Wagenhoff, Volker. Handwerkzeug, Maschine, Automat . Bemerkungen zum Reuleauxschen Maschinenbegriff. in: Benad-Wagenhoff, Volker (Hrsg). *Industrialisierung – Begriffe und Prozesse . Festschrift Akos Paulinyi zum 65. Geburtstag.* Stuttgart : Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1994, S. 181–207

Benje 2002
Benje, Peter. *Maschinelle Holzbearbeitung : ihre Einführung und die Auswirkungen auf Betriebsformen, Produkte und Fertigung im Tischlereigewerbe während des 19. Jahrhunderts in Deutschland.* Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2002

Bense 1965
Bense, Max. *Ungehorsam der Ideen . abschliessender Traktat über Intelligenz und technische Welt* Köln : Kiepenheuer & Witsch, 1965

Berg 1989
Berg, Arne *Norske Tømmerhus frå Mellomalderen* 6 Bände. Oslo . Landbruksforlaget, 1989–1998

Bertalanffy 1953
Bertalanffy, Ludwig von *Biophysik des Fliessgleichgewichts. Einführung in die Physik offener Systeme und ihre Anwendung in der Biologie* Braunschweig · Vieweg, 1953

Bertalanffy 1968
Bertalanffy, Ludwig von. *General system theory : Foundations, development, applications* New York : George Braziller, 1968

Bertalanffy [et al.] 1977
Bertalanffy, Ludwig von, Beier, Walter, Laue Reinhard. *Biophysik des Fliessgleichgewichts.* 2. Aufl., bearb. & erw. Braunschweig · Vieweg, 1977

Beyer 1991
Beyer, Paul Heinz *Technologie von CNC-Holzbearbeitungsmaschinen.* 2. Aufl. mit einer Beilage zur Steuerungsfamilie Sinumerik 800. Düsseldorf : Cornelsen Girardet, 1991

Binding 1990
Binding, Günther (Hrsg.). *Fachterminologie für den historischen Holzbau Fachwerk – Dachwerk.* 2. Aufl Köln · Kunsthistorisches Institut, Abt. Architekturgeschichte, 1990

Binding 1993
Binding, Günther *Baubetrieb im Mittelalter* Darmstadt · Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1993

Bleicher 1972
Bleicher, Knut (Hrsg.). *Organisation als System.* Gabler . Wiesbaden, 1972

Bobacz 2004
Bobacz, Dietmar; Luggin, Wilhelm; Bergmeister, Konrad. CNC-gefertigte Schwalbenschwanz-Zapfenverbindungen im Holzbau – Experimentelle und rechnerische Untersuchungen. in: *Bauingenieur : Organzeitschrift der VDI-Gesellschaft Bautechnik.* Band 79, Januar 2004. Düsseldorf Springer-VDI, 2004

Bode 1997
Bode, Ulrich. *Die Informationsrevolution : Wegweiser für Führungskräfte.* Wiesbaden : Gabler, 1997

Bodey 2008
Bodey, Hugh. *Nailmaking.* Oxford . Shire, 2008

Böhme und Böhme 1996
Böhme, Gernot; Böhme, Hartmut. *Feuer, Wasser, Erde, Luft: eine Kulturgeschichte der Elemente.* München : Beck, 1996

Bolton 2004
Bolton, William. *Bausteine mechatronischer Systeme.* 3. Aufl. München : Pearson Studium, 2004

Boulding 1956
Boulding, Kenneth. *General systems theory : The skeleton of science.* In: Bertalanffy, Ludwig; Rapoport, Anatol (Hrsg.). General Systems, Vol. 1, 1956, S. 11–17. Ann Arbor (Michigan) : Braun-Brumfield, 1956

Brendeland und Kristoffersen 2009
Brendeland, Geir; Kristoffersen, Olav. Bauen mit Massivholz. in: *ARCH+* 193. Aachen : Arch+ Verlag, 2009, S. 30–34

Brockhaus 2006
Brockhaus. *Enzyklopädie in 30 Bänden.* 21., völlig neu bearbeitete Auflage. Leipzig und Mannheim : F. A. Brockhaus, 2006

Brose 2006
Brose, Eric Dorn. *Technology and science in the industrializing nations, 1500–1914.* 2nd ed. New York : Humanity Books, 2006

Bryson 2004
Bryson, Bill. *A Short History of Nearly Everything.* London : Black Swan, 2004

Bucher 1851
Bucher, Lothar. *Kulturhistorische Skizzen aus der Industrieausstellung aller Völker.* Frankfurt am Main, 1851

Buchhaupt 1999
Buchhaupt, Siegfried (Hrsg. et al.). *Gibt es Revolutionen in der Geschichte der Technik? : Workshop am 20. Februar 1998 aus Anlass der Emeritierung von Akos Paulinyi.* Tagungsband. Darmstadt : Technische Universität Darmstadt, 1999

Buchhaupt 2003
Buchhaupt, Siegfried. Die Bedeutung der Nachrichtentechnik für die Herausbildung eines Informationskonzeptes der Technik im 20. Jahrhundert. in: *Technikgeschichte* Bd. 70 (2003) Nr. 3, S. 277–298. Berlin : Edition Sigma, 2003

Bundesverband Deutscher Fertigbau 2001
Bundesverband Deutscher Fertigbau. *Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise : aktuelle Werkstoffe, Entwurfsplanung, Konstruktionen ; Bauphysik und Haustechnik im Holzbau ; Vorteile bei Vorfertigung und Montage.* Kissing : Weka Media, 2001

Burckhardt 1984
Burckhardt, Lucius. Die Geschichte wiederholt sich (nicht). in: *ARCH+* 75/76 Die (in)formierte Stadt. Aachen : Arch+ Verlag, 1984, S.62–67

Busch 1822
Busch, Gabriel Christian Benjamin. *Handbuch der Erfindungen. Zwölfter und letzter Theil, die Buchstaben T bis Z enthaltend.* Eisenach : Johann Friedrich Bärecke, 1822

Campbell-Kelly und Aspray 2004
Campbell-Kelly, Martin; Aspray, William. *Computer : A History of the Information Machine.* 2. Aufl. Boulder, Colorado : Westview, 2004

Carlyle 1829
Carlyle, Thomas. Signs of the Times. in: Carlyle, Thomas. *The Collected Works of Thomas Carlyle.* Band 3 von 16 [Erstveröffentlichung in: Edinburgh Review, Juni 1829, S. 439–459]. London Chapman and Hall, 1858.

Cerliani und Baggenstos 2000
Cerliani, Christian; Baggenstos, Thomas. *Sperrholzarchitektur.* 2., unveränd. Aufl. Dietikon : Baufachverlag Lignum, 2000

Chaszar 2006
Chaszar, André (Hrsg). *Blurring the Lines.* Chichester : Wiley & Sons, 2006

Christensen und Thygesen 1995
Christensen J.; Thygesen S. *Die digitale Revolution : Aufbruch in ein neues Zeitalter.* New York [etc.] : Prentice Hall, 1995

Cohn-Wegner [et al.] 1930
Cohn-Wegner; L. M., Knigth E. Vernon; Wulpi, Meinhard. *Furniere und Sperrholz (Veneers and plywood).* Berlin : Krayn, 1930

Couffignal 1958
Couffignal, Louis. *Les notions de base.* Paris : Gauthier-Villars, 1958

Courtenay 1993
Courtenay, Lynn T. Timber Roofs and Spires. in: Mark, Robert (Hrsg.) *Architectural technology up to the scientific revolution : the art and structure of large-scale buildings.* Cambridge, Massachusetts [etc.] : The MIT Press, 1993

Cramer 1986
Cramer, Johannes. Bundzeichen. in: *Bauen mit Holz*, Organ des Bundes Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes. 03/1986. Karlsruhe : Bruderverlag, 1986

Cramer 1992
Cramer, Johannes. Bundzeichen – Zeichen der Vorfertigung. in: Scheidegger, Fritz (Hrsg.). *Aus der Geschichte der Bautechnik.* Band 2. Basel [etc.] : Birkhäuser, 1992

Dana 1913
Dana, William S. B. *The Swiss chalet book : a minute analysis and reproduction of the châlets of Switzerland, obtained by a special visit to that country, its architects, and its châlet homes.* Repr. from the 1913 ed. Amsterdam : Fredonia Books, 2002

Darmstaedter und du Bois-Reymond 1904
Darmstaedter, Ludwig; du Bois-Reymond, René.
4000 Jahre Pionier-Arbeit in den exakten Wissenschaften.
Berlin : Stargardt, 1904

Daumas 1975
Daumas, Maurice. Technikgeschichte : ihr Gegenstand, ihre Grenzen, ihre Methoden. in: Hausen, Karin; Rürup, Reinhard (Hrsg.). *Moderne Technikgeschichte.* Köln : Kiepenheuer & Witsch, 1975

Davies 2005
Davies, Colin. 2005. *The prefabricated home.*
London : Reaktion, 2005

Debeir [et al.] 1986
Debeir, Jean-Claude; Deléage, Jean-Paul; Hémery, Daniel. *Prometheus auf der Titanic : Geschichte der Energiesysteme.* franz. Originalausgabe 1986 «Les servitudes de la puissance. Une histoire de l'énergie» Frankfurt : Campus, 1989

Degele 2002
Degele, Nina. *Einführung in die Techniksoziologie.*
München : Fink, 2002

Denzler 2005
Denzler, Lukas. Besseres Klangholz für den Geigenbau. *NZZ* 15.06.2005, Zürich : NZZ

Deplazes 2001
Deplazes, Andrea. Indifferent, synthetisch, abstrakt – Kunststoff. Präfabrikationstechnologie im Holzbau. aktuelle Situation und Prognose. in: *Werk, Bauen + Wohnen* 01|02|2001, Zürich : Verlag Werk AG, 2001

Deplazes 2007
Deplazes, Andrea. Der Massivholzbau : Ursprung, Entwicklung, Perspektiven. in: *Lignatec Massivholzbau 20/2007.* Zürich : Lignum, 2007

Deplazes 2008
Deplazes, Andrea. Holz: Indifferent, synthetisch, abstrakt – Kunststoff : Zur Präfabrikationstechnologie im Holzbau. in: Deplazes, Andrea (Hrsg.) *Architektur konstruieren : vom Rohmaterial zum Bauwerk : ein Handbuch.* 3., erw. Aufl. Basel : Birkhäuser, 2008, S. 78–82

Deppe und Ernst 1991
Deppe, Hans-Joachim; Ernst, Kurt. *Taschenbuch der Spanplattentechnik.* 3. überarbeitete und erweiterte Aufl. Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verlag, 1991

Deppe und Ernst 1996
Deppe, Hans-Joachim; Ernst, Kurt. *MDF – Mitteldichte Faserplatten.* Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verlag, 1996

Der neue Pauly 2000
Canzik, Hubert; Schneider, Helmuth (Hrsg.). *Der Neue Pauly : Enzyklopädie der Antike.* Stuttgart und Weimar : Metzler, 2000

Diamond 1997
Diamond, Jared. *Guns, germs, and steel : the fates of human societies.* New York : Norton, 1997

Dickinson 1938
Dickinson, H. W., *The Value of History in Engineering Education.* Rensselaer Polytechnic Institute Bulletin, Number 55, New York : Troy, 1938

Diderot und d'Alembert 1763
Diderot, Denis; d'Alembert, Jean le Rond. *Charpenterie : contenant soixante-dix planches, dont trente-six simples, & dix-sept doubles.* Paris : Briasson, 1763. Nachdruck. Winterthur : Baldegger, 1990

Dijksterhuis 1956
Dijksterhuis, Eduard. Jan. *Die Mechanisierung des Weltbildes.* Berlin : Springer, 1956

DIN 8580 (1986)
DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.). *DIN 8580 : Fertigungsverfahren 2 : Trennen : Zerteilen, Spanen, Abtragen, Zerlegen, Reinigen : Normen.* Berlin und Köln : Beuth, 1986.

DIN-Fachbericht 12 (1987)
DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.). 1987. Einteilungsschema für technische Systeme : Anlagen, Apparate, Maschinen, Geräte und vergleichbare funktionsfähige Gebilde. DIN-Fachbericht 12. Berlin : Beuth, 1987

Dolezalek 1965
Dolezalek, Carl Martin. Die industrielle Produktion in der Sicht des Ingenieurs. in: *Technische Rundschau* 57 (1965) Nr. 35, S. 2–5. Bern : Hallwag, 1965

Dolezalek 1966
Dolezalek, Carl Martin. Was ist Automatisierung? in: *Werkstattstechnik : Zeitschrift für Produktion und Betrieb.* 56. Jahrgang (1966), S. 217. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik. Springer-Verlag : Berlin, 1966

Dolezalek und Ropohl 1967a
Dolezalek, Carl Martin; Ropohl, Günter. Ansätze zu einer produktionswissenschaftlichen Systematik der industriellen Fertigung. Teil 1 : Grundriss der Systematik. in: *VDI-Zeitschrift* 109 (1967) Nr. 14, S. 636–640. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure, 1967

Dolezalek und Ropohl 1967b
Dolezalek, Carl Martin; Ropohl, Günter. Ansätze zu einer produktionswissenschaftlichen Systematik der industriellen Fertigung. Teil 2 : Fertigungsmittel und Fertigungsprozess. in: *VDI-Zeitschrift* 109 (1967) Nr. 16, S. 715–721. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure

Drange [et al.] 2003
Drange, Tore; Aanensen, Hans Olaf; Brænne, Jon. *Gamle trehus : Historikk, Reparasjon, Vedlikehold.* 6. Aufl. Oslo : Gyldendal Norsk Forlag, 2003

Drechsler und Weibel 1992
Drechsler, Wolfgang; Weibel, Peter. Form und Material. in: *ARCH+* 111. Aachen : Arch+ Verlag, 1992, S. 66f

Drucker 1993
Drucker, Peter F. *Post-capitalist society.*
New York : HarperBusiness, 1993

Dubbel [et al.] 2007
Dubbel, Heinrich, Grote, Karl-Heinrich, Feldhusen, Jörg (Hrsg.). *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau* 22. Aufl. Berlin : Springer, 2007

Duden Etymologie 2001
Dudenredaktion (Hrsg.). *Duden – Herkunftswörterbuch : Etymologie der deutschen Sprache*, 3.,völlig neu bearb. und erw. Aufl., Mannheim : Dudenverlag, 2001

Dworschak 2009
Dworschak, Manfred. Magie des schlauen Sandes. *Der Spiegel* 6/2009, Hamburg : Spiegel, S. 126–128

Ebinghaus und Fritsche 1939
Ebinghaus, Hugo; Fritsche, M. (Hrsg.). *Das Zimmerhandwerk : ein Lehrbuch und Nachschlagewerk für Studium und Praxis.* Nordhausen a Harz : Killinger, 1939

Eckel und Etzemüller 2007
Eckel, Jan, Etzemüller, Thomas (Hrsg.). *Neue Zugänge zur Geschichte der Geschichtswissenschaft.* Gottingen : Wallstein, 2007

Egloff und Egloff-Bodmer 1987
Egloff, Wilhelm; Egloff-Bodmer, Annemarie. *Die Bauernhäuser des Kanton Wallis. Band 1 : Das Land. Der Holzbau, das Wohnhaus.* Basel : Schweizerische Gesellschaft für Volkskunde, 1987

Ehrlenspiel 2007
Ehrlenspiel, Klaus. *Integrierte Produktentwicklung : Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit.* 3., akt. Aufl. München : Hanser, 2007

Endrei 1994
Endrei, Walter. Jacquard und Babbage – die Frühgeschichte der Lochkarte. in: Benad-Wagenhoff, Volker (Hrsg.). *Industrialisierung – Begriffe und Prozesse : Festschrift Akos Paulinyi zum 65. Geburtstag.* Stuttgart : Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1994, S. 39–52

Engelhard 1852
Engelhard, I. D. W. E. *Bankunde oder Architektonische Constructions-Lehre.* Stuttgart : Franckh'sche Buchhandlung, 1852

Engels 1844
Engels, Friedrich. *Die Lage der Arbeitenden Klasse in England : nach eigner Anschauung und authentischen Quellen* 4. Aufl. Berlin : Dietz, 1971

Emy 1841
Emy, Amand-Rose. *Traité de l'art de la charpenterie.* Paris : Carilian-Goeury [etc.], 1841

Essinger 2004
Essinger, James. *Jacquard's web : how a hand loom led to the birth of the information age.* Oxford : Oxford University Press, 2004

Ettelt und Gittel 2004
Ettelt, Bernhard, Gittel, Hans-Jürgen. *Sägen, fräsen, hobeln, bohren : die Spanung von Holz und ihre Werkzeuge.* Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verlag, 2004

Evans und Rydén 2005
Evans, Chris; Rydén, Göran. *The industrial revolution in iron : the impact of British coal technology in nineteenth-century Europe.* Aldershot : Ashgate, 2005

Erker 1993
Erker, Paul. Forschung und Entwicklung in der Transistortechnologie. Entscheidungszwänge und Handlungsspielräume am Beispiel Siemens und Philips, 1947–1960. in: *Technikgeschichte* Bd. 60 (1993) Nr. 3, S. 267–284. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1993

Exner 1876
Exner, Wilhelm Franz. *Das Biegen des Holzes : ein für Möbelfabrikanten, Wagen- und Schiffbauer, Böttcher u a. wichtiges Verfahren : mit besonderer Rücksichtnahme auf die Thonetsche Industrie.* Leipzig : Voigt, 1876

Exner 1878
Exner, Wilhelm Franz. *Werkzeuge und Maschinen zur HolzßBearbeitung, deren Construktion, Behandlung und Leistungsfähigkeit.* 3 Bände. Weimar : Bernhard Friedrich Voigt, 1878–1883

Fasol 2001
Fasol, Karl Heinz. Hermann Schmidt, Naturwissenschaftler und Philosoph – Pionier der Allgemeinen Regelkreislehre in Deutschland. in: *at Automatisierungstechnik*, Organ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Regelungstechnik & der NAMUR (Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der Chemischen Industrie), S. 138–144. München : Oldenbourg, 2001

Fehl [et al.] 1972
Fehl, Gerhard, Fester, Mark; Kuhnert, Nikolaus. *Planung und Information : Materialien zur Planungsforschung.* Bauwelt Fundamente 34. Gütersloh : Bertelsmann, 1972

Feynman 1963
Feynman, Richard Phillips. *The Feynman lectures on physics.* Vol. 1. Reading, Massachusetts : Addison-Wesley, 1963

Finsterbusch und Thiele 1987
Finsterbusch, Edgar, Thiele, Werner. *Vom Steinbeil zum Sägegatter : ein Streifzug durch die Geschichte der Holzbearbeitung.* Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 1987

Florin 1721
Florin, Franz Philipp. *Oeconomus prudens et legalis oder allgemeiner, kluger und rechts-verständiger Haus-Vatter.* Nürnberg, Frankfurt und Leipzig : Christoph Riegels, 1721

Foerster 1974
Foerster, Heinz von. *Cybernetics of cybernetics : the control of control and the communication of communication.* 2. Aufl., Minneapolis : Future Systems, 1995.

Forbes 1955
Forbes, Robert James. *Studies in Ancient Technology.* 9 Bände. Leiden : Brill, 1955–1964

Forrester 1975
Forrester, Jay W. *Collected papers of Jay W. Forrester* Cambridge (Mass.) : Wright-Allen Press, 1975

Fritz 2006
Fritz, Oliver. Handwerk im Computerzeitalter. in: *archithese* 04/2006, S. 26–31. Zürich : Niggli, 2006

Fritz und Schulze 2006
Fritz, Alfred Herbert; Schulze, Günter (Hrsg.). *Fertigungstechnik*. 7. Aufl., Düsseldorf : VDI-Verlag, 2006

Füssel 1978
Füssel, Martin. *Die Begriffe Technik, Technologie, Technische Wissenschaften und Polytechnik*. Bad Saldetfurth : Barbara Franzbecker, Didaktischer Dienst, 1978

Gaebeler 2006
Gaebeler, Jürgen. *Die Frühgeschichte der Sägemühlen (1200–1600) als Folge der Mühlendiversifikation*. 2., erw. und überarb. Aufl. Remagen : Kessel, 2006

Gaitzsch 1990
Gaitzsch, Wolfgang. Die Entwicklung der Säge. in: Scheidegger, Fritz (Hrsg.). *Aus der Geschichte der Bautechnik*. Band 1. Basel [etc.] : Birkhäuser, 1990

Galison 2001
Galison, Peter. Die Ontologie des Feindes : Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik. in: Hagner, Michael (Hrsg.) *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. Frankfurt am Main : Fischer Taschenbuch-Verlag, 2001

Gäng 1973
Gäng, Peter. Funktion und Nutzen der Anwendung kybernetischer, informationstheoretischer und verwandter Methoden in der Planungstheorie. in: *ARCH+* 19. Aachen : Arch+ Verlag, 1973, S. 1–9

Geddes 1915
Geddes, Patrick. *Cities in evolution : an introduction to the town planning movement and to the study of civics*. London : Williams & Norgate, 1915

Gehlen 1957
Gehlen, Arnold. *Die Seele im technischen Zeitalter : Sozialpsychologische Probleme in der industriellen Gesellschaft*. Hamburg : Rowohlt, 1957

Gerner 1992
Gerner, Manfred. *Handwerkliche Holzverbindungen der Zimmerer*. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 1992

Gerner 1994
Gerner, Manfred. *Fachwerk : Entwicklung, Gefüge, Instandsetzung*. 7., völlig überarbeitete Aufl. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 1994

Gerner 2000
Gerner, Manfred. *Entwicklung der Holzverbindungen : Forschungs- und Untersuchungsergebnisse*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000

Gerner 2002
Gerner, Manfred. *Die Kunst der Zimmerer : Meisterwerke aus Europa, Amerika und Asien*. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2002

Gerner 2007
Gerner, Manfred. *Fachwerk : Entwicklung, Instandsetzung, Neubau*. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2007

Giedion 1941
Giedion, Sigfried. *Space, time and architecture : the growth of a new tradition*. Cambridge : Harvard University Press [etc.], 1941

Giedion 1948
Giedion, Sigfried. *Mechanization takes command : a contribution to anonymous history*. New York : Oxford University Press, 1948

Gimpel 1977
Gimpel, Jean. *The medieval machine : the industrial revolution of the Middle Ages*. London : Gollancz, 1977

Gladbach 1876
Gladbach, Ernst G. *Die Holz-Architektur der Schweiz*. Zürich : Orell-Füssli, 1876

Gladbach 1882
Gladbach, Ernst G. *Der Schweizer Holzstyl in seinen kantonalen und constructiven Verschiedenheiten vergleichend dargestellt mit Holzbauten Deutschlands*. 2 Bände. Zürich : Caesar Schmidt, 1882–1883

Glaeser 2005
Glaeser, Georg. *Geometrie und ihre Anwendungen in Kunst, Natur und Technik*. München : Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, 2005

Glasersfeld 1996
Glasersfeld, Ernst von. *Radikaler Konstruktivismus : Ideen, Ergebnisse, Probleme*. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1996

Gleiter 2008
Gleiter, Jörg. Zur Genealogie des neuen Ornaments im digitalen Zeitalter. in: *ARCH+* 189, ARCH+ Verlag, Aachen 2008, S. 78–83

Glos und Schulz 1980
Glos P., Schulz H. Stand und Aussichten der maschinellen Schnittholzsortierung. in: *Holz als Roh- und Werkstoff* 38, Berlin : Springer, 1980, S. 409–417

Göggel 2000
Göggel, Manfred. *Bemessung im Holzbau : Band 2*. 4., völlig neubearb. und erweiterte Aufl. Karlsruhe : Bruderverlag, 2000

Goldstein [et al.] 2005
Goldstein, Seth Copne; Campbel, Jason D.; Mowry, Todd. C. Programmable Matter. in: *IEEE Computer*, Juni 2005, S. 99–101

Gombrich 1996
Gombrich, Ernst. *Die Geschichte der Kunst*. 16. Aufl., S. Fischer Verlag : Frankfurt am Main, 1996

Goodman 1964
Goodman, William Louis. *The history of woodworking tools*. London : Bell, 1964

Gottl-Ottlilienfeld 1914
Gottl-Ottlilienfeld, Friedrich von (Hrsg.). *Grundriss der Sozialökonomik : 2. Abteilung : Die natürlichen und technischen Beziehungen der Wirtschaft.* Tübingen : Mohr, 1914

Graf 1940
Graf, H. *Maschinelle Handwerkzeuge.*
Springer : Berlin, 1940

Graffenried und Stürler 1844
Graffenried, Karl Adolf von; Stürler, Ludwig Rudolf. *Schweizerische Architektur oder Auswahl hölzerner Gebäude aus dem Berner Oberland.* Bern : 1844

Gramazio und Kohler 2006
Gramazio, Fabio; Kohler, Matthias. Die Informierung von Architektur. in: *archithese* 04/2006, S. 32–33. Zürich : Niggli, 2006

Grau 2002
Grau, Heidrun. *Zielorientiertes Geschäftsprozessmanagement zur Förderung der Wirtschaftlichkeit von Abbundzentren.* Kassel : Kassel University Press, 2002

Graubner 1986
Graubner, Wolfram. *Holzverbindungen : Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen.* Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 1986

Green 1956
Green, Constance McLaughlin. *Eli Whitney and the birth of American technology.* Boston : Little, Brown & Co, 1956

Grossmann 2004
Grossmann, G. Ulrich. *Der Fachwerkbau in Deutschland : Das historische Fachwerkhaus, seine Entstehung, Farbgebung, Nutzung und Restaurierung.* Köln : DuMont, 2004

Gubler 1979
Gubler, Hans Martin. Ein Berner Bauernhaus für den König von Württemberg : Eine Miszelle zum «Schweizerhaus» und seiner Entwicklung 1780–1850. in: *Unsere Kunstdenkmäler : Mitteilungsblatt für die Mitglieder der Gesellschaft für Schweizerische Kunstgeschichte* 04/1979. Basel : Gesellschaft für Schweizerische Kunstgeschichte, 1979

Haas 1994
Haas, Markus. Maschinisierung der Steuerung von Werkzeugmaschinen : Zur Informationsverarbeitung in der spanenden Metallverarbeitungstechnik. in: Benad-Wagenhoff, Volker (Hrsg.). *Industrialisierung - Begriffe und Prozesse : Festschrift Akos Paulinyi zum 65. Geburtstag.* Stuttgart : Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1994, S. 209–232

Haasis und Zimmermann 1993
Haasis, Siegmar; Zimmermann, Rainer. *Effizienter Einsatz der CAD/NC-Kopplung : Grundlagen, Problemlösungen, Strategien, Fallbeispiele.* Ehningen bei Böblingen : Expert Verlag.

Hänseroth 1984
Hänseroth, Thomas. *Der Aufbruch zum modernen Bauwesen: Zur Geschichte des industriellen Bauens dargestellt am Beispiel der Entwicklung des Montagebaus von der industriellen Revolution bis zu den frühen dreissiger Jahren des 20. Jahrhunderts.* Dissertation. Dresden : TU Dresden, 1984

Hagemeyer 1982
Hagemeyer, Friedrich W. Regelungstechnik. in: Troitzsch, Ulrich; Weber, Wolfhard (Hrsg.). *Die Technik: Von den Anfängen bis zur Gegenwart.* Braunschweig : Westermann, 1982, S. 432–443

Hahnloser 1935
Hahnloser, Hans Robert. *Villard de Honnecourt : kritische Gesamtausgabe des Bauhüttenbuches.* Wien : Schroll, 1935

Halbwachs 1985
Halbwachs, Maurice. *Das Gedächtnis und seine sozialen Bedingungen.* Frankfurt am Main: Suhrkamp 1985

Hall und Fagen 1956
Hall, A. D.; Fagen, R. E. Definition of Systems. in: Bertalanffy, Ludwig and Rapoport, Anatol (Hrsg.). *General Systems,* Vol. 1, 1956, S. 18–28. Ann Arbor (Michigan) : Braun-Brumfield, 1956

Hansen 1980
Hansen, Wilhelm. *Fachwerk im Weserraum.*
Hameln : Niemeyer, 1980

Hamilton 1958
Hamilton, S. B. 1958. Building Materials and Techniques. in: Singer, Charles; Holmyard, E. J.; Hall, A. R.; Williams, Trevor I. *A history of technology, Vol. V : The Late Nineteeth Century : 1850 to 1950.* Oxford : Clarendon Press, 1958

Hanser 2002
Hanser, Albrecht. Vorfertigung im internationalen Vergleich : Ein Ausblick. in: *Zuschnitt* 6, Wien : proHolz Austria, 2002

Harris 1969
Harris, Marvin. *The rise of anthropological theory : a history of theories of culture.* London : Routledge and Kegan, 1969

Hartmann und Theuerkauf 2008
Hartmann, Elke; Theuerkauf, Walter E. (Hrsg.). *Allgemeine Technologie und Technische Bildung.* Frankfurt am Main : Peter Lang, 2008

Hartwell 1971
Hartwell, R. M. Technik und Industrielle Revolution. in: Hausen, Karin; Rürup, Reinhard (Hrsg.). *Moderne Technikgeschichte.* Köln : Kiepenheuer & Witsch, 1975

Hassenfratz 1804
Hassenfratz, Jean Henri. *Traité de l'art du charpentier. Première Partie.* Paris : Firmin Didot An XII, 1804

Hausen und Rürup 1975
Hausen, Karin; Rürup, Reinhard (Hrsg.). *Moderne Technikgeschichte.* Köln : Kiepenheuer & Witsch, 1975

Hearn 1990
Hearn, Phil (Hrsg.). *The Architectural Theory of Viollet-le-Duc.* Cambridge Massachusetts : The MIT Press, 1990

Hearn 2003
Hearn, Phil. *Ideas that Shaped Buildings.* Cambridge Massachusetts : The MIT Press, 2003

Heidegger 1954
Heidegger, Martin. Die Frage nach der Technik. in: Heidegger, Martin. *Vorträge und Aufsätze.* Pfullingen : Günther Neske, 1954

Heikkila 1998
Heikkila, Jari. Designing multi-storey timber frame buildings for a modern wooden town. in: ed. Natterer, Julius; Sandoz, Jean Luc (Hrsg.). *5th World Conference on Timber Engineering* : August 17–20, 1998, Montreux : Tagungsband. 2 Bände. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1998

Herbert 1978
Herbert, Gilbert. *Pioneers of prefabrication : the British contribution in the nineteenth century.* Baltimore ; London : The Johns Hopkins University Press, 1978

Herbert 1978
Herbert, Gilbert. *Pioneers of prefabrication : the British contribution in the nineteenth century.* Baltimore ; London : The Johns Hopkins University Press, 1978

Herbert 1984
Herbert, Gilbert. *The Dream of the factory-made house : Walter Gropius and Konrad Wachsmann.* Cambridge : Mass & London : MIT Press, 1984

Hering und Modler 2007
Hering, Ekbert, Modler, Karl-Heinz (Hrsg.). *Grundwissen des Ingenieurs.* 14. Aufl. München : Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2007

Heymann 2005
Heymann, Matthias. *«Kunst» und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts : Zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft.* Zürich : Chronos, 2005

Hermann 1997
Hermann, Isabel. *Die Bauernhäuser des Kanton Zürich. Züricher Weinland, Unterland und Limmattal.* Basel : Schweizerische Gesellschaft für Volkskunde, 1997

Hitchcock und Johnson 1932
Hitchcock, Henry-Russell; Johnson, Philip. *The international style : architecture since 1922.* New York : Norton, 1932

Hoadley 1992
Hoadley, R. B. *Understanding Wood.*
Newton (Connecticut) : Taunton Press, 1992

Hölzl 1984
Hölzl, Josef. *Allgemeine Technologie.* Wien : Institut für Technologie und Warenwirtschaftslehre der Wirtschaftsuniversität Wien; Oesterreichische Gesellschaft für Warenkunde und Technologie, 1984

Holzer und Köck 2008
Holzer, Stefan M.; Köck, Bernd. *Meisterwerke barocker Bautechnik : Kuppeln, Gewölbe und Kirchendachwerke in Südbayern.* Regensburg : Schnell & Steiner, 2008

Holzner 1999
Holzner, Helmut. Entwicklung eines Nachweisverfahrens zur Bemessung von speziellen (maschinell gefertigten) Zapfenverbindungen. Diplomarbeit TU München im Institut für Tragwerksbau (Fachgebiet Holzbau) bei H. Kreuzinger. in: *Schwalbenschwanz-Verbindungen / High-Tech-Abbund im Zimmererhandwerk.* CD [elektronische Daten]. Stuttgart. Verband High-Tech-Abbund im Zimmererhandwerk e.V., 2006

Hömmerich 1988
Hömmerich, Heinz. *Holzarchitektur im Detail : traditionelle und neuzeitliche Holzverbindungen.* Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, 1988

Honnecourt 1230
Honnecourt, Villard de. *Facsimile of the sketch-book of Wilars de Honecort : an architect of the thirteenth century.* London : Parker, 1859

Horisberger 1999
Horisberger, Christina. *Das Schweizer Chalet und seine Rezeption im 19. Jahrhundert : ein eidgenössischer Beitrag zur Weltarchitektur?* Lizentiatsarbeit, Kunsthistorisches Institut der Universität Zürich. Zürich : Universität Zürich, 1999

Hovestadt 2006
Hovestadt, Ludger. Strategien zur Überwindung des Rasters. in: *archithese* 04/2006, S. 76–84. Zürich : Niggli, 2006

Hovestadt 2007
Hovestadt, Ludger. Die technische Rekonstruktion der Architektur im Informationszeitalter. in: *Detail* 12/2007, S. 1434–1438. München : Institut für internationale Architekturdokumentation, 2007

Hübsch 1828
Hubsch, Heinrich. *In welchem Style sollen wir bauen? : beantwortet von H. Hübsch.* Karlsruhe : Müllersche Hofbuchhandlung, 1828

Hughes 2004
Hughes, Thomas Parke. *Human-built world : how to think about technology and culture.* Chicago : University of Chicago Press, 2004

Hugues [et al.] 2002
Hugues, Theodor; Steiger, Ludwig; Weber, Johann. *Holzbau Details Produkte Beispiele.* München : Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 2002

Hunziker, Jacob
Hunziker, Jacob. *Das Schweizerhaus nach seinen landschaftlichen Formen und seiner geschichtlichen Entwicklung.* 8 Bände. Aarau : Sauerländer, 1900–1914

Hütte 2008
Czichos, Horst; Hennecke, Manfred (Hrsg.). *Hütte : das Ingenieurwissen.* Hrsg. Akademischer Verein Hütte. 33. Aufl. Berlin : Springer, 2008

Huwyler 1996
Huwyler, Edwin. Schweizerische Hausforschung : Ein Beitrag zu ihrer Geschichte. in: *Jahrbuch des Schweizerischen Freilichtmuseums Ballenberg 1*, Brienz : Ott, 1996, S. 15–136

Ilschner und Singer 2005
Ilschner, Bernhard; Singer, Robert F. *Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik : Eigenschaften, Vorgänge, Technologien*. 4. Aufl. Berlin : Springer, 2005

Isermann 2008
Isermann, Rolf. *Mechatronische Systeme : Grundlagen*. 2. Aufl. Berlin : Springer, 2008

Issel 1900
Issel, Hans. *Holzbau*. Weimar : Voigt, 1900. Holzminden : Reprint-Verlag Leipzig, 2004

Itô 1978
Itô, N. On Tsugite, Shiguchi and Woodworking Tools. in: *International Symposium on the Conversation and Restoration of Cultural Property – Conversation of Wood*. Tokyo : TNRICP, 1978

Ivanov 1988
Ivanov, Boris Iljitsch. Geschichte der Automatisierung und die Entwicklung der Technikwissenschaften. in: *Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften*. Heft 16. Dresden : Technische Universität Dresden, 1988

Jägerschmid 1828
Jägerschmid, K. F. V. *Handbuch für Holztransport- und Flosswesen zum Gebrauche für Forstmänner und Holzhändler, und für solche die es werden wollen*. Karlsruhe : im Verlag der Ch. Fr. Müller'schen Hofbuchhandlung, Tafelband, 1827–1828 (Herkunft: ETH Bibliothek Zürich, Alte Drucke)

Janse und Devliegher 1962
Janse, Herman; Devliegher, Luc. Middeleeuwse bekappingen in het vroegere graafschap Vlanderen. in: *Bulletin van de Koninklijke Commissie voor Monumenten en Landschappen*. Belgique : Commission Royale des Monuments et des Sites, 1962, S. 301–380

Janse 1981
Janse, Herman. Merkzeichen auf Holzkonstruktionen. in: *Jahrbuch für Hausforschung*. Band 32. Detmold und Marburg : Arbeitskreis für Hausforschung, 1981, S. 131–143

Janse 1989
Janse, Herman. *Houten kappen in Nederland : 1000–1940*. Delft : Delftse Universitaire Pers, 1989

Janse 2004
Janse, Herman. *De Oude Kerk te Amsterdam : Bouwgeschiedenis en restauratie*. Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Zwolle : Waanders Uitgevers, 2004

Johnson und Wigley 1988
Johnson, Philip; Wigley, Mark. *Deconstructivist architecture*. Published on the occasion of the exhibition «Deconstructivist Architecture», June 23–August 30, 1988. New York : Museum of Modern Art [etc.], 1988

Jordan [et al.] 1986
Jordan, Reinhard; Küchle, Hartmut; Volkmann, Gerd. *Holzwirtschaft im Wandel. Ökonomische und technologische Veränderungen in der Holzbearbeitung und Holzverarbeitung*. Köln : Bund-Verlag, 1986

Jung 1787
Jung, Joachim Heinrich. *Lehrbuch der Forstwirtschaft*. Zwei Teile. Mannheim, 1787

Junghanns 1994
Junghanns, Kurt. *Das Haus für alle : Zur Geschichte der Vorfertigung in Deutschland*. Berlin : Ernst & Sohn, 1994

Kaiser 1992
Kaiser, Walter. Energiewirtschaft Automatisierung Information : Technisierung des Lebens seit 1945. in: König, Wolfgang (Hrsg.). *Propyläen Technikgeschichte*. Bd. 5. Berlin : Propyläen Verlag.

Kapfinger 2004
Kapfinger, Otto. «Der Gott, der Eisen wachsen liess, der wollte keine Holzmöbel» Mutmassungen über ein Sprachproblem der Moderne. in: *Zuschnitt* 16. Wien : proHolz Austria, 2004, S. 8f

Karmarsch 1872
Karmarsch, Karl. *Geschichte der Technologie seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts*. München : Oldenbourg, 1872

Karmarsch 1875
Karmarsch, Karl. *Handbuch der mechanischen Technologie*. 2 Bände. 5. Aufl. Hannover : Helwing, 1875

Kehlmann 2005
Kehlmann, Daniel. *Die Vermessung der Welt*. Rowohlt : Reinbek bei Hamburg, 2005

Kelly 1951
Kelly, Burnham. *The prefabrication of houses : a study by the Albert Farwell Bemis Foundation of the prefabrication industry in the United States*. [Cambridge] - Mass. : MIT, 1951

Kelly 1993
Kelly, Barbara M. *Expanding the American dream : building and rebuilding Levittown*. Albany, N.Y. : State University of New York Press, 1993

Kelly 1994
Kelly, Kevin. *Out of control: the new biology of machines, social systems and the economic world*. Boston : Addison-Wesley, 1994

Kesik und Lio 1997
Kesik, Ted; Lio, Michael. *Canadian wood-frame house construction*. Canada Mortgage and Housing Corporation, 1997

Kettner und Klingenschmitt 1967
Kettner, H.; Klingenschmitt, V. Abriss einer Aufbaulehre der industriellen Mechanisierung. in: *Werkstattstechnik : Zeitschrift für Produktion und Betrieb*. 57. Jahrgang (1967), Heft 9, S. 418–413. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik. Springer-Verlag : Berlin, 1967

Kief 1978
Kief, Hans B. *NC Handbuch '78.* Michelstadt, Stockheim : NC-Handbuch-Verlag

Kief 1987
Kief, Hans B. *NC Handbuch '87.* München : Hanser.

Kief und Roschiwal 2007
Kief, Hans B.; Roschiwal, Helmuth A. *NC/CNC Handbuch 2007/08.* München : Hanser, 2007

Kienzle 1923
Kienzle, Otto (Hrsg.). *Der Austauschbau und seine praktische Durchführung.* Schriften der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure : Bd. 1 Berlin : J. Springer, 1923

Kienzle 1952
Kienzle, Otto. Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen. in: *VDI-Zeitschrift* 94 (1952) Nr. 11/12, S. 299–305 Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.

Kienzle 1956
Kienzle, Otto. Die Grundpfeiler der Fertigungstechnik. in: *VDI-Zeitschrift* 98 (1956) Nr. 23, S. 1389–1395. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure

Kienzle 1966
Kienzle, Otto. Begriffe und Benennungen der Fertigungsverfahren. in: *Werkstattstechnik* 98 (1966) Nr. 56, S. 169–173 Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure.

Kieran und Timberlake 2004
Kieran, Stephen; Timberlake, James. *Refabricating architecture : how manufacturing methodologies are poised to transform building construction.* New York : McGraw-Hill Companies.

Kirk 1994
Kirk, Malcolm. *Silent Spaces : The Last of the Great Aisled Barns.* A Bulfinch Press Book Boston [etc.] : Little, Brown and Company, 1994

Kirk [et al.] 1994
Kirk, Geoffrey S.; Raven, John E.; Schofield, Malcom: *Die vorsokratischen Philosophen: Einführung, Texte und Kommentare.* Stuttgart : Metzler, 1994.

Klaus und Liebscher 1976
Klaus, Georg; Liebscher, Heinz (Hrsg). *Wörterbuch der Kybernetik.* 4., völlig überarb. Aufl. Berlin : Dietz, 1976

Klemm 1954
Klemm, Friedrich. *Technik : Eine Geschichte ihrer Probleme.* Freiburg : Karl Alber, 1954

Klemm 1961
Klemm, Friedrich. *Kurze Geschichte der Technik.* Freiburg i. Br. : Herder

Klemm 1999
Klemm, Friedrich. *Geschichte der Technik : Der Mensch und seine Erfindungen im Bereich des Abendlandes.* 4. Aufl. Stuttgart : Teubner.

Koch 1951
Koch, Herbert. *Vom Nachleben des Vitruv.* Baden-Baden : Verlag für Kunst und Wissenschaft, 1951

Koch 2006
Koch, Wilfried. *Baustilkunde : das Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart.* 27. grundlegend bearb. und ergänzte Aufl. Gütersloh : Bertelsmann-Lexikon-Institut, 2006

Kohl 1873
Kohl, Friedrich. *Geschichte der Jacquard-Maschine und der sich ihr anschliessenden Abänderungen und Verbesserungen nebst der Biographie Jacquard's.* Berlin : Nicolai, 1873

Kohring 1966
Kohring, Günter. *Grundlagen und Praxis numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen.* München : Carl Hanser Verlag, 1966

Kolb und Gruber 1981
Kolb H.; Gruber R. Radiometrisches Verfahren für die Holzsortierung. in: *Holz als Roh- und Werkstoff* 39, Berlin : Springer, 1981, S. 367–377

Kolb 2007
Kolb, Josef. *Holzbau mit System : Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile.* Hrsg. von: Lignum – Holzwirtschaft Schweiz, DGfH – Deutsche Gesellschaft für Holzforschung. Basel : Birkhäuser, 2007

Koller 1976
Koller, Rudolf. *Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau.* Berlin : Springer, 1976

König 1990
König, Wolfgang. Das Problem der Periodisierung der Technikgeschichte. in: *Technikgeschichte* Bd. 57 (1990) Nr. 4. S. 285–298. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1990

König 1999
König, Wolfgang. *Künstler und Strichezieher : Konstruktions- und Technikkulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930.* Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1999

König und Schneider 2007
König, Wolfgang; Schneider, Helmuth (Hrsg.). *Die technikgeschichtliche Forschung in Deutschland von 1800 bis zur Gegenwart.* Kassel : Kassel University Press, 2007

Konovalov 1985
Konovalov, Arpád. *Ornament am Fachwerk : Eine Untersuchung der Gestaltung von Bürgerhäusern in Hannoversch-Münden.* Münster : Lit, 1985

Kraft 2009
Kraft, Sabine. Imageoffensive. in: *ARCH+* 193, Aachen : Arch+ Verlag, 2009, S. 69–72

Kraft und Schindler 2009a
Kraft, Sabine; Schindler, Christoph. Digitale Schreinerei. in: *ARCH+* 193, Aachen : Arch+ Verlag, 2009, S. 93–97

Kraft und Schindler 2009b
Kraft, Sabine; Schindler, Christoph. Bauen – mit dem Holz oder gegen das Holz. in: *ARCH+* 193. Aachen : Arch+ Verlag, 2009, S. 90–92

Krämer 1988
Krämer, Sybille. *Symbolische Maschinen : die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriss.* Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1988

Krauth und Meyer 1895
Krauth, Theodor; Meyer, Franz Sales. *Die Bau- und Kunstzimmerei : mit besondere Berücksichtigung der äusseren Form.* 2., erw. Aufl. Leipzig : Seemann 1895. Nachdruck Hannover : Schäfer, 1981.

Kriesel [et al.] 1995
Kriesel, Werner; Rohr, Hans; Koch, Andreas. *Geschichte und Zukunft der Mess- und Automatisierungstechnik.* Düsseldorf: VDI, 1995

Kühn 2008
Kühn, Christian. Christopher Alexanders Pattern Language : Von der «Notes on the Synthesis of Form» zur «Pattern Language». in: *ARCH+* 189. Aachen : Arch+ Verlag, 2008, S. 26–31

Lachner 1885
Lachner, Carl. *Geschichte der Holzbaukunst in Deutschland : Ein Versuch.* Leipzig : Seemann, 1885. Nachdruck: Hannover : Schäfer, 1983.

Lange 1965
Lange, Oskar. *Wholes and parts : a general theory of system behaviour.* Oxford : Pergamon Press, 1965

Langsdorf, 1828
Langsdorf, Karl Christian von. *Ausführliches System der Maschinenkunde mit speziellen Anwendungen bei mannigfaltigen Gegenständen der Industrie.* Heidelberg : Groos, 1826–1828

Larsen 1994
Larsen, Knut Einar. *Architectural Preservation in Japan.* Trondheim : Tapir, 1994

Larsen und Marstein 2000
Larsen, Knut Einar; Marstein, Nils. *Conversation of Historic Timber Structures : An Ecological Approach.* Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000

Larsen, Scheurer, Schindler und Stori 2007
Larsen, Knut Einar; Scheurer, Fabian; Schindler, Christoph; Stori, Simen. The Trondheim Camera Obscura – A Case Study on Digital and Analogue Project Development in Timber Construction. in: Kieferle, Joachim; Ehlers, Karen (Hrsg.) *Predicting the Future*, 25th eCAADe Conference Proceedings, Frankfurt am Main (Germany) 26.–29. September 2007, S. 51–58

Larsen, Schindler, Scheurer und Stori 2008
Larsen, Knut Einar; Schindler, Christoph; Scheurer, Fabian; Stori, Simen. The Ringve Botanical Garden Viewing Platform – Second Case Study on Digital Timber Fabrication at NTNU Trondheim. in: Muylle, Marc (Hrsg.) *Architecture «in computro» : Integrating methods and techniques*, 26th eCAADe Conference Proceedings, Antwerpen 17.–20. September 2008, S. 803–810

Larsen und Schindler 2009
Larsen, Knut Einar; Schindler, Christoph. From Concept to Reality: Digital Systems in Architectural Design and Fabrication. in: *International Journal of Architectural Computing (IJAC)*, Issue 06, Volume 04, 2009, S. 397–413

Lehfeldt 1880
Lehfeldt, Paul. *Die Holzbaukunst : Vorträge an der Berliner Bauakademie gehalten von Paul Lehfeldt.* Berlin : Springer, 1880.

Lenk und Ropohl 1978
Lenk, Hans; Ropohl, Günter (Hrsg.). *Systemtheorie als Wissenschaftsprogramm.* Königstein/Ts. : Athenäum Verlag, 1978

Lenski [et al.] 1991
Lenski, Gerhard; Lenski Jean; Nolan, Patrick. *Human societies : an introduction to macrosociology.* 6. Aufl. New York [etc.] : McGraw-Hill, 1991

Leroi-Gourhan 1980
Leroi-Gourhan, André. *Hand und Wort : Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst.* Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1980

Lilley 1966
Lilley, Samuel. *Men, Machines and History : The Story of Tools and Machines in Relation to Social Progress.* International Publishers : New York, 1966

Lilley 1976
Lilley, Samuel. Technological Progress and the Industrial Revolution. in: Cipolla, Carlo M. (Hrsg.) *The Fontana economic history of Europe.* Brighton : Harvester Press, 1976.

Lohmann 2003
Lohmann, Ulf [et al.]. *Holz-Lexikon.* 4. Aufl., völlig neu bearb., 2 Bände. Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verlag, 2003.

López de Lacalle und Lamikiz 2009
López de Lacalle Marcaide, Luis Norberto; Lamikiz Mentxaka, Aitzol. *Machine Tools for High Performance Machining.* London : Springer, 2009

Louw 1989
Louw, Hentie. Demarcation Disputes between the English Carpenters and Joiners from the Sixteenth to the Eighteenth Century. in: *Construction History : Journal of the Construction History Society.* Vol. 5, 1989. Abdingdon : Carfax Publ., 1989

Louw 1992
Louw, Hentie. The Mechanisation of Architectural Woodwork in Britain from the Late-Eightteenth to the Early Twentieh Century, and its Practical, Social and Aesthetic Implications Part I: The Period 1790 to 1860. in: *Construction History / Journal of the Construction History Society.* Vol. 8. 1992. Abdingdon : Carfax Publ., 1992

Louw 1993
Louw, Hentie. The Mechanisation of Architectural Woodwork in Britain from the Late-Eightteenth to the Early Twentieh Century, and its Practical, Social and Aesthetic Implications. Part II. Technological Progress 1860 to 1915. in *Construction History / Journal of the Construction History Society.* Vol. 9. 1993. Abdingdon . Carfax Publ., 1993

Louw 1995
Louw, Hentie. The Mechanisation of Architectural Woodwork in Britain from the Late-Eightteenth to the Early Twentieh Century, and its Practical, Social and Aesthetic Implications. Part III: The Retreat of the Handicrafts. in: *Construction History / Journal of the Construction History Society.* Vol. 11. 1995. Abdingdon . Carfax Publ., 1995

Louw 1996
Louw, Hentie. The Mechanisation of Architectural Woodwork in Britain from the Late-Eightteenth to the Early Twentieh Century, and its Practical, Social and Aesthetic Implications Part IV: The End of an Era. in: *Construction History / Journal of the Construction History Society.* Vol. 12. 1996. Abdingdon : Carfax Publ., 1996

Loveridge und Strehlke 2005
Loveridge, Russell; Strehlke, Kai. The Redefinition of Ornament in: *Computer Aided Architectural Design Futures 2005,* Proceedings of the 11th International CAAD Futures Conference held at the Vienna University of Technology, Wien, 2005

Loveridge und Strehlke 2006
Loveridge, Russell; Strehlke, Kai The Digital Ornament using CAAD CAAM Technologies. in: *International Journal of Architectural Computing (IJAC),* Volume 4, Number 1, January 2006, S. 33–49(17), Multi-Science Publishing Co Ltd

Lubbock 1865
Lubbock, John. *Pre-historic Times, as Illustrated by Ancient Remains, and the Manners and Customs of Modern Savages.* London : Williams and Norgate, 1865

Ludwig 1994
Ludwig, Karl-Heinz. Die Innovation der Nockenwelle im Übergang vom Früh- zum Hochmittelalter : Eine Skizze europäischer Quellenprobleme unter besonderer Berücksichtigung der Walkmühlen. in: *Technikgeschichte* Bd. 61 (1994) Nr. 3, S. 227–238 Berlin : Kiepert, 1994

Luhmann 1984
Luhmann, Niklas. *Soziale Systeme : Grundriss einer allgemeinen Theorie.* Frankfurt a. M. Suhrkamp, 1984

MacLean 2008
MacLean, Alex. *Over visions aériennes de l'American way of life : une absurdité écologique.* Paris · D. Carré · La Découverte, 2008

Machlup 1962
Machlup, Fritz. *The production and distribution of knowledge in the United States.* Princeton : University Press, 1962

Mäckbach und Kienzle 1926
Mäckbach, Frank; Kienzle, Otto. *Fliessarbeit : Beiträge zu ihrer Einführung.* Berlin . VDI-Verlag, 1926

Maier 1993
Maier, Gerhard. *Technik mit System : Anleitungen und Anwendungsbeispiele zur methodischen Vorgehensweise bei Beschaffung und Einsatz von Maschinen in der Holzwirtschaft.* Leinfelden-Echterdingen DRW-Verlag Weinbrenner, 1993

Maier 1997
Maier, Gerhard *Spanabhebende Maschinen in der Holzverarbeitung : Auswahl, Anforderungen, Konzepte, Konstruktionen.* Leinfelden-Echterdingen · DRW-Verlag, 1997

Maier 2000
Maier, Gerhard. *Holzspanungslehre : und werkzeugtechnische Grundlagen.* Würzburg : Vogel-Verlag, 2000

Malik 2007
Malik, Fredmund. *Management : Das A und O des Handwerks* Frankfurt am Main und New York · Campus, 2007

Mann 1924
Mann, Thomas. *Der Zauberberg.*
Fischer : Frankfurt am Main, 1952

Mark 1993
Mark, Robert (Hrsg.) *Architectural technology up to the scientific revolution the art and structure of large-scale buildings.* Cambridge, Massachusetts [etc.] : The MIT Press, 1993

Matejak 2008
Matejak, Mieczyslaw. *Das Holz in deutschen Abhandlungen aus dem 17.–19. Jahrhundert : aus den Sammlungen der Universitätsbibliothek in Wars chau* 3. erw. und bearb. Aufl. Warschau : [s.n.], 2008

Matschoss 1901
Matschoss, Conrad. *Geschichte der Dampfmaschine Ihre kulturelle Bedeutung, ihre Entwicklung und ihre grossen Männer* Berlin · Julius Springer, 1901

Matschoss 1911
Matschoss, Conrad Grundriss der technikgeschichtlichen Entwicklung in: Miethe, A. (Hrsg.), *Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert,* Bd. 1. Braunschweig, 1911

Mattheck 1994
Mattheck, Claus. Der Baum Autobiograph und Designlehrmeister. in: *ARCH+* 124/125. Aachen : Arch+ Verlag, 1994, S. 64–69

Maturana 1985
Maturana, Humberto Romecin. *Erkennen Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit : Ausgewählte Arbeiten zur biologischen Epistemologie.* 2. Aufl. Braunschweig · Vieweg, 1985

Marx 1890
Marx, Karl. *Das Kapital : Kritik der politischen Ökonomie.* Erster Band. Berlin : Dietz, 1975

McLuhan 1962
McLuhan, Marshall. *The Gutenberg Galaxy.* University of Toronto : Toronto Press, 1962

McNeil 1968
McNeil, Ian. *Joseph Bramah : A Century of Invention, 1749–1851.* Newton Abbot : David & Charles, 1962

Mende 1989
Mende, Michael. Massenfertigung in der Einzelfertigung : Der Dampflokomotivenbau bei der HANOMAG. in: *Technikgeschichte* Bd. 56 (1989), S. 219–236. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1978

Merton und Gaston 1977
Merton, Robert King; Gaston, Jerry (Hrsg). *The sociology of science in Europe.* Carbondale & Edwardsville: Sout hern Illinois University Press; London & Amsterdam : Feffer & Simons, 1977

Mies van der Rohe 1923a
Mies van der Rohe, Ludwig. Bürohaus. in: ‹G› Nr. 1, Juli 1923, S. 3, in: Neumeyer, Fritz. Das kunstlose Wort. Berlin : Siedler, 1986, S. 299

Mies van der Rohe 1923b
Mies van der Rohe, Ludwig. *Bauen.* in: ‹G› Nr. 2, Sept. 1923, S. 1; in: Neumeyer, Fritz. *Das kunstlose Wort.* Berlin : Siedler, 1986, S. 300

Mies van der Rohe 1924
Mies van der Rohe, Ludwig. Baukunst und Zeitwille!. in: Der Querschnitt Nr. 4/1924, S. 31–32. in: Neumeyer, Fritz. 1986. *Das kunstlose Wort.* Berlin : Siedler, 1986, S. 303f

Mies van der Rohe 1968
Mies van der Rohe, Ludwig. Zitate. in: Gastbeitrag von Peter und Alison Smithson zu einem Seminar über Mies van der Rohe am Lehrstuhl von Oswald Mathias Ungers an der TU Berlin im November 1968. *ARCH+* 181/182. Aachen : Arch+ Verlag, 2006, S. 141

Mittelstrass 1989
Mittelstrass, Jürgen. *Der Flug der Eule : Von der Vernuft der Wissenschaft und der Aufgabe der Philosophie.* Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1989

Mönck 1993
Monck, Willi. *Holzbau : Grundlagen für Bemessung und Konstruktion.* 11. Aufl. Berlin [etc] : Verlag für Bauwesen, 1993

Monroy 1929
Monroy, J. A. (Hrsg.) *Das Holz : gemeinfassliche Darstellung seiner Erzeugung, Gewinnung und Verwendung.* Hrsg. im Auftrag des Vereines deutscher Ingenieure in Gemeinschaft mit dem Deutschen Forstverein. Berlin : VDI-Verlag, 1929

Müller 1990
Müller, Johannes. *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften : Systematik, Heuristik, Kreativität.* Berlin [etc.] : Springer, 1990

Müller und Troitzsch 1992
Müller, Hans-Peter; Troitzsch, Ulrich (Hrsg.). *Technologie zwischen Fortschritt und Tradition : Beiträge zum Internationalen Johann Beckmann-Symposium, Göttingen 1989.* Frankfurt am Main [etc.] : Lang, 1992

Müller 1996a
Müller, Klaus. *Allgemeine Systemtheorie : Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms.* Opladen : Westdeutscher Verlag, 1996

Müller 1996b
Müller, Thomas. Sarnen. in: Gesellschaft für Schweizerische Kunstgeschichte (Hrsg.). *St. Gallen, Sarnen, Schaffhausen, Schwyz.* INSA : Inventar der neueren Schweizer Architektur 1850–1920, Band 8. Zürich : Orell Füssli, 1996

Müller 2000
Müller, Christian. *Holzleimbau.* Basel : Birkhäuser, 2000

Mumford 1974
Mumford, Lewis. *Mythos der Maschine : Kultur, Technik und Macht.* Wien : Europaverlag, 1974

National Committee on Wood Utilization 1933
National Committee on Wood Utilization, U.S. Department of Commerce and Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. *Modern connectors for timber construction.* Washington, D.C. : United States Government Printing Office, 1933

Natterer [et al.] 2001
Natterer, Julius; Herzog, Thomas; Volz, Michael. *Holzbau-Atlas Zwei.* Ed. 2001. Basel : Birkhäuser, 2001

Neutra 1930
Neutra, Richard. *Amerika : Die Stilbildung des Neuen Bauens in den Vereinigten Staaten.* Wien : Schroll, 1930

Ngo und Pfeiffer 2003
Ngo, Dung; Pfeiffer, Eric. *Bent Ply : the art of plywood furniture.* New York : Princeton Architectural Press, 2003

Nicholson 1991
Nicholson, Harold. *Interconnected Manufacturing Systems : The Problems of Advanced Manufacturing.* London : Peter Peregrinus Ltd., 1991

Niemann [et al.] 2005
Niemann, Gustav, Winter H., Höhn, B.-R. *Maschinenelemente.* 3 Bände. 4., bearb. Aufl. Berlin : Springer, 2005

Nimmerich 1978
Nimmerich, Heinrich. *Die Kennzeichnung der Holzer beim Abbund von Fachwerkhäusern.* in: Hessische Heimat, Heft 1, 1978

Noble 1984
Noble, David F. *Forces of Production : A Social History of Industrial Automation.* New York : Alfred E. Knopf, 1984

Nutsch 1999
Nutsch, Wolfgang. *Handbuch der Konstruktion : Möbel und Einbauschränke.* Stuttgart : Deutsche-Verlags-Anstalt, 1999.

Opderbecke 1909
Opderbecke, Adolf. *Der Zimmermann.* 3. Aufl. Leipzig : Voigt, 1905

Opderbecke 1909
Opderbecke, Adolf. *Das Holzbau-Buch : für den Schulgebrauch und die Praxis.* Wien und Leipzig : Hartleben 1909. Nachdruck. Hannover : Schäfer, 1995.

Ortega y Gasset 1949
Ortega y Gasset, José. *Betrachtungen über die Technik : Der Intellektuelle und der Andere.* Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt DVA, 1949

Osterdieckhoff 2001
Osterdieckhoff, Georg W. *Der europäische Rationalismus und die Entstehung der Moderne .* Stuttgart : Breuninger Stiftung, 2001

Otto-Graf-Institut 1982
Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Wüttenberg, Otto-Graf-Institut. *Mechanisch metallfreie Holzverbindungen : Forschungsbericht.* Stuttgart : IRB, 1982

Pahl und Beitz 2007
Pahl, Gerhard, Beitz, Wolfgang. *Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung.* 7. Aufl. Berlin : Springer, 2007

Pahlitzsch 1939
Pahlitzsch, Gotthold. Neuzeitliche Verfahren und Maschinen der Holzbearbeitung. in: *VDI-Zeitschrift* 83 (1939) Nr. 8, S. 224–237. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure, 1950

Pahlitzsch 1950
Pahlitzsch, Gotthold. Die Holzbearbeitungsmaschinen im Ingenieurholzbau. in: *VDI-Zeitschrift* 92 (1950) Nr. 13, S. 303–314. Dusseldorf : Verein Deutscher Ingenieure, 1950

Parsons und Smelser 1957
Parsons, Talcott, Smelser, Neil J. *Economy and society : a study in the integration of economic and social theory.* London : Routledge & Kegen Paul, 1957

Paulinyi 1978
Paulinyi, Akos. Kraftmaschine oder Arbeitsmaschine : Zum Problem der Basisinnovationen in der Industriellen Revolution. in: *Technikgeschichte* Bd. 45 (1978) Nr. 2, S. 173–188. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1978

Paulinyi 1982
Paulinyi, Akos. Die industrielle Revolution. in: Troitzsch, Ulrich; Weber, Wolfhard (Hrsg.). *Die Technik: Von den Anfängen bis zur Gegenwart.* Braunschweig : Westermann, 1982

Paulinyi 1986
Paulinyi, Akos. Revolution and technology. in: Porter, Roy and Teich, Mikulás (Hrsg.). *Revolution in History.* Cambridge et. al. : Cambridge University Press, 1986.

Paulinyi 1987a
Paulinyi, Akos. Das Wesen der technischen Neuerungen in der Industriellen Revolution : Der Marx'sche Ansatz im Lichte einer technologischen Analyse. in: Pirker, Theo, Müller, Hans-Peter; Winkelmann, Rainer (Hrsg.), *Technik und Industrielle Revolution. Vom Ende eines sozialwissenschaftlichen Paradigmas.* Opladen 1987, S. 147–158

Paulinyi 1987b
Paulinyi, Akos. *Das Puddeln : ein Kapitel aus der Geschichte des Eisens in der Industriellen Revolution.* München : Oldenbourg, 1987

Paulinyi 1989
Paulinyi, Akos. *Die industrielle Revolution.* Reinbek bei Hamburg : Rowohlt-Verlag, 1989

Paulinyi 1990a
Paulinyi, Akos. Die Entwicklung der Stoffumformungstechnik als Periodisierungskriterium der Technikgeschichte. in: *Technikgeschichte* Bd. 57 (1990) Nr. 4, S. 299–314. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1990

Paulinyi 1990b
Paulinyi, Akos. Die Entwicklung der Stoffumformungstechnik als Periodisierungskriterium der Technikgeschichte. in: *Technikgeschichte* Bd. 57 (1990) Nr. 4, S. 299–314. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1990

Paulinyi 1990c
Paulinyi, Akos. Die Entwicklung der NC-Maschinen und das Liegenlassen der Record-Playback-Steuerung im Maschinenbau in den USA. in: ZATU e.V. (Hrsg.) : *Kolloquium Nr. 6: Technikgeschichte und Gestaltungsmöglichkeiten.* Tagungsband vom 31.05.1990. Nürnberg 1990, S. 43–58

Paulinyi 1991a
Paulinyi, Akos. Bemerkungen zu Bedeutung, Begriff, und industrieller Vorgeschichte der Werkzeugmaschinen. in: *Technikgeschichte* Bd. 58 (1991) Nr. 4, S. 263–277. Berlin : Kiepert, 1991

Paulinyi 1991b
Paulinyi, Akos. Mechanisierung und Maschinisierung : 1600 bis 1840 : Die Umwälzung der Technik in der industriellen Revolution. in: König, Wolfgang (Hrsg.), *Propyläen Technikgeschichte*, Bd. 3. Berlin : Propyläen Verlag, 1991

Paulinyi 1998
Paulinyi, Akos. *Karl Marx und die Technik seiner Zeit.* LTA Forschung, Heft 26/1997. Mannheim : Landesmuseum für Technik und Arbeit, 1998

Paulinyi 1999a
Paulinyi, Akos. Revolution und Technik. in: Buchhaupt, Siegfried (Hrsg. et. al.), *Gibt es Revolutionen in der Geschichte der Technik?* : Workshop am 20. Februar 1998 aus Anlass der Emeritierung von Akos Paulinyi : Tagungsband. Darmstadt : Technische Universität Darmstadt, 1999

Paulinyi 1999b
Paulinyi, Akos. Überlegungen zum Problem der Periodisierung technischer Entwicklung. in: Stadler, Gerhard A.; Kuisle, Anita (Hrsg.), *Technik zwischen Akzeptanz und Widerstand . Gesprächskreis Technikgeschichte.* Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt; Band 8. Münster : Waxmann, 1999

Paulinyi 1999c
Paulinyi, Akos. Unternehmensgeschichte und Technikgeschichte. in: Teichova, Alice; Matis, Herbert; Resch, Andreas (Hrsg.), *Business History. Wissenschaftliche Entwicklungstrends und Studien aus Zentraleuropa.* Veröffentlichungen der Österreichischen Gesellschaft für Unternehmensgeschichte. Wien . Manz, 1999

Peters 1994
Peters, Tom Frank. Berufliches und kulturelles ›border-crossing im technischen Denken von Architekten und Bauingenieuren – Ein Ansatz zum konzeptionellen Unterbau der Bautechnikgeschichte. in: Benad-Wagenhoff, Volker (Hrsg.). *Industrialisierung - Begriffe und Prozesse : Festschrift Akos Paulinyi zum 65. Geburtstag.* Stuttgart . Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1994, S. 129–142

Petzold 1985
Petzold, Hartmut. *Rechnende Maschinen . Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik.* Technikgeschichte in Einzeldarstellungen, Band 41. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1985

Pfamatter 2005
Pfamatter, Ulrich. *In die Zukunft gebaut . Bautechnik- und Kulturgeschichte von der Industriellen Revolution bis heute.* München [etc.] : Prestel, 2005

Pfetsch 1978
Pfetsch, Frank R. Innovationsforschung in historischer Perspektive : Ein Überblick. in: *Technikgeschichte* Bd. 45 (1978) Nr. 2, S. 118–133. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1978

Picon 1999
Picon, Antoine. Architecture, science, and technology. in: Galison, Peter and Thompson, Emily (Hrsg.). *The architecture of science.* Cambridge, Mass. [etc.] . MIT Press, 1999

Picon 2006
Picon, Antoine. Construction History : Between Technological and Cultural History. in: *Construction History : Journal of the Construction History Society.* Vol. 21. 2005–6. Abdingdon : Carfax Publ., 2006

Piller 2001
Piller, Frank Thomas. *Mass Customization: ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter.* Wiesbaden : Deutscher Universitäts Verlag und Gabler Verlag, 2001

Pils 1967
Pils, Ernst Peter. *Wörterbuch der Automation : Begriffe – Erläuterungen – Abkürzungen.* Stuttgart : Franckh, 1967

Platon 1994
Platon. Timaios. in: Platon, *Sämtliche Werke Band 4.* übers. von Hieronymus Müller und Friedrich Schleiermacher. Reibek bei Hamburg : Rowohlt, 1994

Polónyi 1989
Polónyi, Stefan. Der Einfluss des Wissenschaftsverständnisses auf das Konstruieren. in: Graefe, Rainer (Hrsg.) *Zur Geschichte des Konstruierens.* Wiesbaden : Fourier, 1989

Popitz 1989
Popitz, Heinrich. *Epochen der Technikgeschichte.* Tübingen : Mohr, 1989

Popplow 1993
Popplow, Marcus. Die Verwendung von lat. machina im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit – vom Baugerüst zu Zoncas mechanischem Bratenwender. in: *Technikgeschichte* Bd. 60 (1993) Nr. 1, S. 7–26. Berlin . Kiepert, 1993

Port 1976
Port, M. H. (Hrsg.) *The Houses of Parliament.* New Haven; London : Yale University Press, 1976

Powis Bale 1880
Powis Bale, Manfred. *Woodworking machinery : Its rise, progress and construction with hints on the management of saw mills and the economical conversion of timber.* London : Crosby Lockwood and Co., 1880. Nachdruck. Glen Moor Press, 1992

Pudelek 2000
Pudelek, Jan-Peter. *Der Begriff der Technikästhetik und ihr Ursprung in der Poetik des 18. Jahrhunderts.* Würzburg : Königshausen & Neumann, 2000

Pynchon 1973
Pynchon, Thomas. *Gravity's Rainbow.* New York : Viking Press, 1973

Radkau und Schäfer 1987
Radkau, Joachim; Schäfer, Ingrid. *Holz. Ein Naturwerkstoff in der Technikgeschichte.* Reinbek bei Hamburg : Deutsches Museum und Rowohlt Taschenbuch Verlag, 1987

Radkau 1990
Radkau, Joachim. Umweltprobleme als Schlüssel zur Periodisierung der Technikgeschichte. in: *Technikgeschichte* Bd. 57 (1990) Nr. 4, S. 345–361. Berlin : Kiepert.

Radkau 2007
Radkau, Joachim. *Holz – Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt.* München : oekom, 2007

Ransome 1902
Ransome, Stafford. *Modern wood-working machinery.* 3. Aufl. Rider's technical series No. 6. London : Rider, 1902

Rapp 1978
Rapp, Friedrich. *Analytische Technikphilosophie.* Freiburg und München . Alber, 1978

Reuleaux 1875
Reuleaux, Franz. *Lehrbuch der Kinematik : Theoretische Kinematik . Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens.* Band 1. Braunschweig : Vieweg, 1875

Reuleaux 1900
Reuleaux, Franz. *Lehrbuch der Kinematik : Die praktischen Beziehungen der Kinematik zu Geometrie und Mechanik.* Band 2. Braunschweig : Vieweg, 1900

Ribeiro 1971
Ribeiro, Darcy. *Der zivilisatorische Prozess.* Frankfurt am Main Suhrkamp, 1971

Riegl 1893
Riegl, Alois. *Stilfragen : Grundlegungen zu einer Geschichte der Ornamentik.* Berlin . Georg Siemens, 1893

Rittel 1984
Rittel, Horst Architekten und Computer in *ARCH+* 78. Aachen . Arch+ Verlag, 1984, S. 73–77

Rittel 1992
Rittel, Horst. *Planen – Entwerfen – Design : ausgewählte Schriften zu Theorie und Methodik* Stuttgart [etc.] : Kohlhammer, 1992

Rodenacker 1991
Rodenacker, Wolf. G. *Methodisches Konstruieren : Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele.* 4 Auflage. Springer : Berlin, 1991

Roll 1930
Roll, Erich. *An early experiment in industrial organisation : being a history of the firm of Boulton & Watt, 1775–1805.* London : Longmans, Green 1930

Rolland 1920
Rolland, Romain *Meister Breugnon : ein fröhliches Buch* Frankfurt am Main . Rütten & Loening, 1920

Romberg 1846
Romberg, Andreas J. *Die Zimmerwerks-Baukunst in allen ihren Theilen.* 3. Aufl. Glogau : Flemming 1848

Ropohl 1971
Ropohl, Günter. *Flexible Fertigungssysteme : Zur Automatisierung der Serienfertigung.* Mainz . Krausskopf, 1971

Ropohl 1979
Ropohl, Günter *Eine Systemtheorie der Technik zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie.* München und Wien : Hanser, 1979

Ropohl 1991
Ropohl, Günter Die Entstehung flexibler Fertigungssysteme in Deutschland. in: *Technikgeschichte* Bd. 58 (1991) Nr. 4, S. 331–343 Berlin : Kiepert

Ropohl 1998
Ropohl, Günter. *Wie die Technik zur Vernunft kommt : Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften.* Amsterdam . G+B Fakultas, 1998

Ropohl 1999
Ropohl, Günter. *Allgemeine Technologie : eine Systemtheorie der Technik* 2. Aufl. München : Hanser, 1999

Roth 1970
Roth, Karlheinz. Systematik der Maschinen und ihrer mechanischen elementaren Funktionen. in: *Feinwerktechnik* 74 Jh., 1970, Heft 11. München . Hanser, S. 453–496

Roth 2000
Roth, Karlheinz. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen.* 3., erw. Aufl. Band 1. Berlin : Springer, 2000

Ruby 1995
Ruby, Jürgen. *Maschinen für die Massenfertigung : die Entwicklung der Drehautomaten bis zum Ende des Ersten Weltkrieges.* Stuttgart . Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1995

Ruby 1997
Ruby, Jürgen. *Zur Entwicklungsgeschichte der Werkzeugmaschine* Hefte zur Technikgeschichte 1 Madgeburg : Magdeburger Museen, 1997

Rug und Lissner 2003
Rug, Wolfgang; Lissner, Karin. Zum aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung im Holzbau. in. *Bauingenieur Organzeitschrift der VDI-Gesellschaft Bautechnik.* Band 78, Mai 2003. Düsseldorf : Springer-VDI

Ruskin 1898
Ruskin, John. *The stones of Venice.* Orpington-London : G. Allen, 1898

Ryll 1997
Ryll, Christine. Unbekannte Grössen – Firma Hundegger in: *mikado : Magazin für Holzbau und Ausbau* 06/1997. Augsburg . WEKA, 1997, S. 44–46

Sachsse 1978
Sachsse, Hans *Anthropologie der Technik. Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt* Braunschweig . Vieweg, 1978

Sato und Nakahara 1995
Sato, Hideo; Nakahara, Yasuo. *The Complete Japanese Joinery* Vancouver : Hartley & Marks Publishers, 1995

Sautter 1997
Sautter, Rudolf. *Fertigungsverfahren : Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Elektronikfertigung, numerische Steuerung von Arbeitsmaschinen.* Würzburg : Vogel Buchverlag.

Sax 1833
Sax, Franz. *Bau-Technologie und Bau-Oekonomie* 4 Bände. 2. Ausgabe. Wien : J. M. Jäckel, 1833

Schadwinkel 1986
Schadwinkel, Hans-Tewes. *Das Werkzeug des Zimmermanns* Hannover : Schäfer, 1986

Scheurer, Schindler und Braach 2005
Scheurer, Fabian; Schindler, Christoph, Braach, Markus. 2005. From Design to Production – Three Complex Structures Materialised in Wood. in: Soddu, Celestino (Hrsg.) *Generative Art* 2005. Proceedings of the 6th International Conference, Mailand, 2005

Schill-Fendl 2004
Schill-Fend, Monika. *Planungsmethoden in der Architektur : Grundlagen von Planungs- und Entwurfsmethoden für Architekten komplexer Aufgabenstellungen in interdisziplinären Gruppen, dargestellt am Bereich Sozial- und Gesundheitsbauten.* Norderstedt : Books on Demand, 2004

Schilli 1954
Schilli, H. Die alte Schwarzwälder Sägemühle. in. *Holz-Zentralblatt.* Stuttgart 80 (1954) 33, S. 427–428

Schindler und Scheurer 2006a
Schindler, Christoph; Scheurer, Fabian. Komplexität bauen – Die digitale Umsetzung von Libeskinds Futuropolis. in. Beyes, Timon, Keller, Holm, Libeskind, Daniel und Spoun Sascha (Hrsg.). *Die Stadt als Perspektive. Zur Konstruktion urbaner Räume.* Ostfildern : Hatje Cantz, 2006

Schindler und Scheurer 2006b
Schindler, Christoph, Scheurer, Fabian. Neue Formen und neue Wertschöpfung : Digitale Produktionsketten für den Holzbau. in: Berner Fachhochschule Architektur Holz und Bau: *Internationale Konferenz zur Automation in der Holzwirtschaft.* Tagungsband. Biel, 2006

Schindler, Braach und Scheurer 2006
Schindler, Christoph, Braach, Markus; Scheurer, Fabian. 2006. ‹Inventioneering Architecture› – building a doubly curved section through Switzerland. in. Luhan, Gregory A. (Hrsg.). *ACADIA Conference 2006 Synthetic Landscapes.* Proceedings of the International Conference. Louisville Kentucky, 2006

Schindler 2007a
Schindler, Christoph. Building Continuous Digital Planning Processes on Timber Infrastructure – Two Case Studies on Digital Wood Fabrication. in. Neumann, Oliver; Beesley, Philip (Hrsg.) *Futurewood Innovation in Building Design + Manufacturing.* Canadian Design Research Network CDRN, Cambridge Ont. : Riverside Architectural Press, 2007

Schindler 2007b
Schindler, Christoph. ZipShape – Gekrümmte Formstücke aus zwei ebenen Platten durch geometrisch variables Verzinken. in: *Bulletin Holzforschung,* 15. Jg, Heft 1, SAH Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Dübendorf 2007, S. 9–11

Schindler 2007c
Schindler, Christoph. Das Ganze und seine Teile : Digitale Produktionsketten im Holzbau. in: *SAH Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung* [Tagungsband zum 39. Fortbildungskurs 7.–8. Nov. in Weinfelden]. Dübendorf : SAH, 2007

Schindler und Wiskemann 2007
Schindler, Christoph; Wiskemann, Barbara (Hrsg.). *1:1 Metalworks – Eine analog-digitale Baustelle.* Zürich : gta Verlag, 2007

Schindler, Châtelet, Wiskemann und Zieta 2007
Schindler, Christoph; Châtelet, Maud, Wiskemann, Barbara; Zieta, Oskar. Umbrella Schoolyard Roofs in Zürich – Reflecting on a 1:1 Seminar with Digital Sheet Metal Fabrication. in: Kieferle, Joachim; Ehlers, Karen (Hrsg.) *Predicting the Future*, 25th eCAADe Conference Proceedings, Frankfurt am Main 26.–29. Sept. 2007, S. 35–42

Schindler, Scheurer und Walz 2008
Schindler, Christoph, Scheurer, Fabian; Walz, Arnold. The Whole and Its Parts. in: Sakamoto, Tomoko; Ferré, Albert; Kubo, Michael (Hrsg.). *From Control to Design : Parametric / Algorithmic Architecture.* Barcelona : Actar, 2008

Schindler 2008a
Schindler, Christoph. Die Mittel der Zeit – Herstellungsinnovation im Holzbau. in: *ARCH+* 188, ARCH+ Verlag, Aachen 2008, S. 92–95

Schindler 2008b
Schindler, Christoph. Das neue Bild vom Holz – Digitale Holzbearbeitung zur Umsetzung gekrümmter Formen. in: *Detail* 11/2008, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 2008, S. 1310–1316

Schindler 2008c
Schindler, Christoph. ZipShape – A Computer-Aided Fabrication Method for Bending Panels without Molds. in: Muylle, Marc (Hrsg.) *Architecture ‹in computro›*, 26th eCAADe Conference Proceedings, Antwerpen 17.–20. September 2008, S. 795–802

Schindler 2009a
Schindler, Christoph. Genagelt und geschraubt in: *ARCH+* 193, Aachen : Arch+ Verlag, 2009, S. 35

Schindler 2009b
Schindler, Christoph. Die Standards des Nonstandard. in: *GAM 06. Nonstandard Structures.* Wien : Springer, 2009, S. 180–193

Schlesinger 1932
Schlesinger, Georg. *Technische Vollendung und höchste Wirtschaftlichkeit im Fabrikbetrieb.* Berlin : Springer, 1932

Schneider 1992
Schneider, Helmuth. Die Gaben des Prometheus : Technik im Antikten Mittelmeerraum zwischen 750 v. Chr. und 500 n. Chr. in: König, Wolfgang (Hrsg.). *Propyläen Technikgeschichte.* Bd. 1. Berlin : Propyläen Verlag, 1992

Schmidt 1941
Schmidt, Hermann. Regelungstechnik : Die technische Aufgabe und ihre wirtschaftliche, sozialpolitische und kulturpolititsche Auswirkung. in: *VDI-Zeitschrift* 85 (1941) Nr. 4, S. 87. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure, 1941

Schmidt 1954
Schmidt, Hermann. Die Entwicklung der Technik als Phase der Wandlung des Menschen. in: *VDI-Zeitschrift* 96 (1954) Nr. 5, S. 118–122. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure, 1954

Schmidt 1961
Schmidt, Hermann. *Denkschrift zur Gründung eines Instituts für Regelungstechnik (1941).* 2. Aufl. Quickborn in Holstein: Verlag Schnelle, 1961

Schmidt 1965
Schmidt, Hermann. *Die anthropologische Bedeutung der Kybernetik : Reproduktion dreier Texte aus den Jahren 1941, 1953 und 1954.* Quickborn in Holstein : Verlag Schnelle, 1965

Schneider 1992
Schneider, Wolf. *Die Sieger : Wodurch Genies, Phantasten und Verbrecher berühmt geworden sind.* Hamburg : Sternbuch bei Gruner + Jahr, 1992

Schneider 2007
Schneider, Birgit. *Textiles Prozessieren : Fädenziehen im Maschinenraum des Bildes.* Diaphanes : Zürich, 2007

Schodek [et al.] 2005
Schodek, Daniel; Bechthold, Martin; Griggs, Kimo; Kao, Kenneth Martin; Steinberg, Marco. *Digital Design and Manufacturing : CAD/CAM Applications in Architecture and Design.* Hoboken [New Jersey] : Wiley, 2005

Schübler 1731
Schübler, Johann Jakob. *Nützliche Anweisung zur unentbehrlichen Zimmermannskunst.* Nürnberg : Lorentz Bieling 1731–36. Nachdruck. Hannover : Schäfer 1998/99

Schüling 2005
Schüling, Hermann. *Die Mechanisierung und Automation der erkennenden Akte und Operationen. System und Evolution des menschlichen Erkennens.* Band 8. Hildesheim : G. Olms, 2005

Schumpeter 1961
Schumpeter, Joseph Alois. *Konjunkturzyklen : eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses.* Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht, 1961

Seising 2000
Seising, Rudolf. Von der Allgemeinen Systemtheorie zur Fuzzy Theorie : Oder: Dr. Jekyll und Mr. Hyde in Wissenschaft und Technik. in: *Technikgeschichte* Bd. 67 (2000) Nr. 4, S. 275–301. Berlin : Kiepert

Semper 1852
Semper, Gottfried. *Wissenschaft, Industrie & Kunst: Vorschläge zur Anregung nationalen Kunstgefühles. bei dem Schlusse der Londoner Industrie-Ausstellung von Gottfried Semper..London, den 11.October 1851.* Braunschweig : Vieweg und Sohn, 1852

Semper 1860
Semper, Gottfried. *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten, oder Praktische Ästhetik: ein Handbuch für Techniker, Künstler und Kunstfreunde.* 2 Bände. München : Bruckmann, 1860–1863

Sharples [et al.] 2002
Sharples, Holden, Pasquarelli SHoP (Hrsg.). *Versioning: Evolutionary Techniques in Architecture.* Architectural Design AD Vol 72 No. 5. London : John Wiley & Sons, 2002

Sieder 1932
Siedler, Eduard Jobst. *Die Lehre vom Neuen Bauen : Ein Handbuch der Baustoffe und Bauweisen.* Berlin : Bauwelt-Verlag im Ullsteinhaus, 1932

Sieferle 1987
Sieferle, Rolf Peter. Industrielle Revolution und die Umwälzung des Energiesystems. in: Pirker, Theo; Müller, Hans-Peter; Winkelmann, Rainer (Hrsg.). *Technik und Industrielle Revolution. Vom Ende eines sozialwissenschaftlichen Paradigmas.* Opladen 1987, S. 147–158

Sieferle [et al.] 2006
Sieferle, Rolf Peter, Krausmann, Fridolin; Schandl, Heinz; Winiwarter, Verena. *Das Ende der Fläche : Zum gesellschaftlichen Stoffwechsel der Industrialisierung.* Köln : Böhlau, 2006

Siegert 2003
Siegert, Bernhard. *Passage des Digitalen : Zeichenpraktiken der neuzeitlichen Wissenschaften 1500–1900.* Berlin : Brinkmann & Bose, 2003

Simon 2005
Simon, Katja. *Fertighausarchitektur in Deutschland seit 1945.* Oberhausen : Athena-Verlag, 2005

Singer 1952
Singer, Charles. *Technology and History : Delivered on 23 October 1951 at The London School of Economics and Political Science.* London : Oxford University Press, 1952

Skyttner 2005
Skyttner, Lars. *General Systems Theory : Problems, Perspectives, Practice.* 2. Aufl. Singapore : World Scientific, 2005

Smiles 1904
Smiles, S. *Lives of Engineers : Early Engineering.* London 1904

Solt 2008
Solt, Judit. Kunst der Künstlichkeit. in: *TEC21* 11/2008, Zürich : Verlags-AG der technischen Vereine, S. 20–25

Spannagel 1954
Spannagel, Fritz. *Der Möbelbau : Ein Fachbuch für Tischler, Architekten und Lehrer : auch ein Beitrag zur Wohnkultur.* 10. Aufl. Ravensburg : Maier, 1954

Sprague 1981
Sprague, Paul E. The Origin of Balloon Framing . in: *The Journal of the Society of Architectural Historians,* Vol. 40, No. 4, Dec., 1981, S. 311–319

Spur 1967
Spur, Günter. Optimierung des Fertigungssystems Werkzeugmaschine in: *Werkstattstechnik : Zeitschrift für Produktion und Betrieb.* 57. Jahrgang (1967), Heft 9, S. 411–417. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik. Springer-Verlag : Berlin, 1967

Spur 1979
Spur, Günter. *Produktionstechnik im Wandel.*
München und Wien : Carl Hanser, 1979

Spur 1991
Spur, Günter. *Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen : Eine kulturgeschichtliche Betrachtung der Fertigungstechnik.* München und Wien : Carl Hanser, 1991

Spur 1993
Spur, Günter [et. al.]. *Automatisierung und Wandel der betrieblichen Arbeitswelt.* Berlin und New York : Walter de Gruyter, 1993

Spur 1998
Spur, Günter. *Technologie und Management : Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften.* München [etc.] : Hanser, 1998

Stade 1904
Stade, Franz. *Die Holzkonstruktionen.* Leipzig : Moritz Schäfer Verlag, 1904. 22. Nachdruckauflage der Originalausgabe im Reprint-Verlag-Leipzig. [o. J.]

Stefan 1960
Stefan, Karl Heinz. *Technik der Automation : eine zweite industrielle Revolution.* Berlin : Safari-Verlag, 1960

Steffen 2003
Steffen, Dagmar. *C_Moebel : Digitale Machart und gestalterische Eigenart.* Frankfurt am Main : Anabas Verlag, 2003

Steinbuch 1965
Steinbuch, Karl. *Automat und Mensch : auf dem Weg zu einer kybernetischen Authopologie.* 3. Auf. Berlin : Springer, 1965

Stolper 1933
Stolper, Hans. *Bauen in Holz : Blockbau, Fachwerk, Plattenbau und Hallenbau.* Stuttgart : Julius Hoffmann Verlag, 1933

Strehlke 2008
Strehlke, Kai. *Das Digitale Ornament in der Architektur, seine Generierung, Produktion und Anwendung mit Computergesteuerten Technologien.* Diss. Nr. 17830, Technische Wissenschaften, Zürich : ETH Zürich, 2008

Tapscott 1996
Tapscott, Don. *Die digitale Revolution : Verheissungen einer vernetzten Welt – die Folgen für Wirtschaft, Management und Gesellschaft.* Wiesbaden : Gabler, 1996

Thibaut und Gril 2003
Thibaut, Bernard, Gril, Joseph. Growth stresses. in: Barnett, John R., Jeronimidis George (Hrsg.). *Wood quality and its biological basis.* Oxford : Blackwell Publishing, 2003, S. 137–156

Thinius-Hüser 1998
Thinius-Hüser, Klaus. *Historische Holzkonstruktionen.*
Karlsruhe : Bruderverlag, 1998

Thom 1983
Thom, René. *Mathematical models of morphogenesis.*
Chichester : Ellis Horwood 1983

Toffler 1980
Toffler, Alvin. *Die Dritte Welle. Zukunftschance. Perspektiven für die Gesellschaft des 21. Jahrhunderts.* München : Wilhelm Goldmann Verlag 1980

Tomlinson 1854
Tomlinson, Charles. *Cyclopaedia of useful arts, mechanical and chemical, manufactures, mining, and engineering.* 2 Bände. London und New York : Virtue, 1854

Tondl 1974
Tondl, Ladislav. On the Concept of ‹Technology› and ‹Technological Sciences›. in: Rapp, Friedrich (Hrsg.). *Contributions to a Philosophy of Technology – Studies in the Structure of Thinking in the Technological Sciences.* Dordrecht und Boston : Reidel, 1974

Toynbee 1884
Toynbee, Arnold. *Toynbee's Industrial Revolution : A Reprint of Lectures on the Industrial Revolution in England, Popular Addresses, Notes and Other Fragments.* New Abott : David & Charles, 1969

Troitzsch und Wohlauf 1980
Troitzsch, Ulrich, Wohlauf, Gabriele (Hrsg.). *Technik-Geschichte : Historische Beiträge und neuere Ansätze.* Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1980

Troitzsch und Weber 1982
Troitzsch, Ulrich, Weber, Wolfhard (Hrsg.). *Die Technik: Von den Anfängen bis zur Gegenwart.* Braunschweig : Westermann, 1982

Trumpold [et al.] 1997
Trumpold, Harry; Beck, Christian; Richter, Gerhard. *Toleranzsysteme und Toleranzdesign : Qualität im Austauschbau.* München [etc.] : Hanser, 1997

Tschofen 2002
Tschofen, Bernhard. Komm, bleib! Laute und leise Holztöne alpenländischer Gastfreundschaft. in: *Zuschnitt* 5, Wien : proHolz Austria, 2002, S. 6ff

Tuchel 1967
Tuchel, Klaus. *Herausforderung der Technik : Gesellschaftliche Voraussetzungen und Wirkungen der technischen Entwicklung.* Bremen : Carl Schünemann, 1967

Übelhack 2007
Übelhack, Anders. Produktion und Einsatz von gekrümmten Brettsperrholz- und Hybridkonstruktionen. in: *Praktische Anwendung von Massivholzplatten.* 39. Fortbildungskurs 7.–8. November 2007 in Weinfelden. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, Dübendorf, S. 59–61

Ungers 1967
Ungers, Oswald Mathias (Hrsg.). *Paxton . Kristallpalast.* Veröffentlichungen zur Architektur, Lehrstuhl für Entwerfen und Gebäudelehre TU Berlin, Berlin : TU Berlin, 1967

Usher 1954
Usher, Abbott Payson. *A history of mechanical inventions* Harvard : University Press, 1954

Ure 1835
Ure, Andrew. *The Philosophy of Manufacturers or an Exposition of the Scientific, Moral and Commercial Economy of the Factory System of Great Britain.* London 1835

Vasari 1550
Vasari, Giorgio. *Lebensläufe der berühmtesten Maler, Bildhauer und Architekten.* 5. Aufl. Zürich . Manesse 1993

Verband der dt. Sperrholz- und Spanplattenind. 1970
Verband der deutschen Sperrholz- und Spanplattenindustrie. *Ein halbes Jahrhundert Holzwerkstoff-Industrie.* Giessen ohne Verlag, 1970

VDI-Richtlinie 2221 (1993)
VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb. *VDI-Richtlinie Nr. 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.* Berlin . Beuth, 1993

Vester 1985
Vester, Frederic. *Ein Baum ist mehr als ein Baum : ein Fensterbuch* München : Kosel, 1985

Voch 1777
Voch, Lucas *Anleitung zur Verfertigung schöner Zimmerwerksrisse* Augsburg : Johann Martin Will, 1777

de Vries 2006
de Vries, Vera. *Systemtheoretischer Ansatz für die frühe Phase des Produkt-Innovationsprozesses : Ein Ansatz zur Unterstützung von Innovationsprojekten in der frühen Phase.* Promotion. Zürich : ETH, 2006

Wachsmann 1930
Wachsmann, Konrad. *Holzhausbau : Technik und Gestaltung.* Berlin : Wasmuth, 1930

Wachsmann 1959
Wachsmann, Konrad *Wendepunkt im Bauen* Wiesbaden : Krausskopf Verlag, 1959

Wagenführ 2008
Wagenführ, André. *Die strukturelle Anisotropie von Holz als Chance für technische Innovationen* Leipzig : Verlag der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, 2008

Wagenführ und Scholz 2008
Wagenführ, André; Scholz, Frieder (Hrsg.). *Taschenbuch der Holztechnik.* München : Fachbuchverlag Leipzig im Hanser Verlag, 2008

Wagner 2005
Wagner, Karlheinz. Fragil bauen. in: *Zuschnitt* 19, Wien : proHolz Austria, 2005, S. 8

Warth 1900
Warth, Otto. *Die Konstruktionen in Holz.* Sechste verbesserte und vollständig umgearb Aufl Leipzig : J. M. Gebhardt's Verlag, 1900

Weber 1978
Weber, Wolfhard. Quellenprobleme der historischen Innovationsforschung für das 18 und 19. Jahrhundert. in: *Technikgeschichte* Bd 45 (1978) Nr. 2, S. 162–172. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1978

Weck und Brecher 2006
Weck, Manfred; Brecher, Christian. *Werkzeugmaschinen Konstruktion und Berechnung* 8. Aufl. Berlin : Springer, 2006

Weiss 2004
Weiss, Walter. *Fachwerk in der Schweiz* Basel : Birkhäuser, 1991

Weizsäcker 1971
Weizsäcker, Carl Friedrich von *Die Einheit der Natur Studien.* München . Hanser, 1971

Wiegand 2006
Wiegand, Dietmar. Informatisierung und die Zukunft der Arbeit im Bauwesen. in: Baukrowitz, Andrea [et. al.](Hrsg.). *Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch.* Berlin : Edition Sigma, 2006

Wiener 1948
Wiener, Norbert. *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine.* New York : MIT Technology Press, 1948

Wiener 1956
Wiener, Norbert. *I Am a Mathematician.* New York : Doubleday & Company, 1956

Wichmann 1940
Wichmann, H *Maschinen und Werkzeuge für die spangebende Holzbearbeitung.* Berlin : Springer, 1940

Wietersheim Eskioglou 2004
Wietersheim Eskioglou, Karin von *Der Schweizer Stil und die Entwicklung des modernen Schweizer Holzhausbau.* Diss. Nr. 15542, Technische Wissenschaften, Zürich : ETH Zürich, 2005

Wilhelm 1668
Wilhelm, Johann *Architectura civilis.* Nürnberg : in Verlegung Paul Fürstens seel. Wittib und Erben, gedruckt daselbst bey Christoph Gerhard, 1668 Nachdruck. Hannover. Schäfer, 1986.

Williams 2002
Williams, Rosalind Helen. *Retooling : a historian confronts technological change* Cambridge, Mass. : MIT Press, 2002

Witthöft 1990
Witthöft, Harald. Längenmass und Genauigkeit 1660 bis 1870 als Problem der deutschen historischen Metrologie. in: *Technikgeschichte* Bd. 57 (1990) Nr. 3, S. 189–210. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1990

Wölfflin 1923
Wölfflin, Heinrich. *Kunstgeschichtliche Grundbegriffe : Das Problem der Stilentwicklung in der neueren Kunst.* 6. Aufl. München : Bruckmann, 1923

Wolfgramm 1978
Wolfgramm, Horst. *Allgemeine Technologie : Elemente, Strukturen und Gesetzmässigkeiten technologischer Systeme* Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 1978

Woodward 1865
Woodward, George E. *Woodward's country homes : A new, practical and original work on rural architecture.* Facsimile Watkins Glen, New York : American Life Foundation, 1977

Zander 2008
Zander, Christian F. *Vom Hobel zum Computer : Zur Wirtschaftsgeschichte des modernen Tischler- und Schreinerhandwerks in Deutschland* Leinfelden-Echterdingen : DRW, 2008

Zankl 2006
Zankl, Arnold. *Meilensteine der Automatisierung : vom Transistor zur Digitalen Fabrik.* Erlangen : Publicis, 2006

Zedler 1733
Zedler, Johann Heinrich. *Grosses vollständiges Universal Lexicon Aller Wissenschafften und Künste.* Halle und Leipzig : Johann Heinrich Zedler 1733

Zeppenfeld und Grunwald 2005
Zeppenfeld, Günter, Grunwald, Dirk. *Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie.* 2., überarb. und erw. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : DRW, 2005

Zink-Sharp 2003
Zink-Sharp, Audrey. The mechanical properties of wood. in: Barnett, John R.; Jeronimidis George (Hrsg.). *Wood quality and its biological basis.* Oxford : Blackwell Publishing, 2003, S. 189–210

Zippelius 1993
Zippelius, Adelhart. Zwischen Aufklärung und Nationalromantik – auf der Suche nach den Wurzeln der europäischen Freilichtmuseen. In: Janson, M. (Hrsg.) *Association of European Open-air Museums, Tagungsbericht der 15. Tagung 1991.* Stockholm : Skansen, 1993

8.2 Beteiligte Personen

In Kapitel 5 sind Projekte angeführt, an denen ich in verschiedenen Rollen beteiligt war:

Swissbau Pavillon, 2005

Pavillon der Professur für CAAD, Swissbau Basel 25.–29.01.2005
Organisation: Felix Knobel und Ruedi Tobler, I-Catcher GmbH
Projektleitung: Christoph Schindler, ETH Zürich
Formgenerierung: Fabian Scheurer, ETH Zürich
Detaillierung und NC-Programmierung: Markus Braach, ETH Zürich
CNC-Fertigung: Hansueli Dumelin und Franz Roman Bach, Bach Heiden AG

Inventioneering Architecture, 2005

Wanderausstellung der Schweizerischen Architekturhochschulen
ETH Zürich, EPF Lausanne, USI Mendrisio, Universität Genf
Auftraggeber: ETH Zürich, Prof. Dr. Gerhard Schmitt und Prof. Dr. Marc Angélil
Entwurf und Organisation: Dirk Hebel und Jörg Stollmann, Instant Architekten
Projektleitung Fertigung: Christoph Schindler, ETH Zürich
Elementierung und Detaillierung: Fabian Scheurer, ETH Zürich
NC-Programmierung: Markus Braach, ETH Zürich
CNC-Fertigung: Hansueli Dumelin und Franz Roman Bach, Bach Heiden AG

Libeskind's Futuropolis, 2005

Skulptur aus 98 Einzeltürmen nach einem Entwurf von Daniel Libeskind
anlässlich der Startwoche 2005 der Universität St. Gallen (HSG), Tonhalle St. Gallen
Auftraggeber: Universität St. Gallen (HSG)
Projektleitung Startwoche: Holm Keller und Dr. Timon Beyes, Universität St. Gallen HSG
Projektleitung Fertigung: Christoph Schindler, ETH Zürich
Elementierung und Detaillierung: Fabian Scheurer, ETH Zürich
NC-Programmierung: Markus Braach, ETH Zürich
CNC-Fertigung: Hansueli Dumelin und Franz Roman Bach, Bach Heiden AG

Camera Obscura, 2006

Semesterkurs an der Architekturfakultät der NTNU Trondheim
Projektleitung: Prof. Dr. Knut Einar Larsen, NTNU Trondheim
Technische Beratung: Christoph Schindler und Fabian Scheurer, designtoproduction GmbH
Holzbau: Eikås Sagbruk A/S, Trebyggeriet A/S
Teilnehmer: Eskild Andersen, Åge Eivind Aslaksen, Erik Fjelldal, Sindre Kjetil Frigstad, Kristian Hansen, Madeleine Johander, Maria Bjørn Olsen, Christian Robberstad, Anne Sandnes, Frederike Finne Selp, Ingrid Solbakken, Anders H. Strand, Bjørn Olav Susæg, Ingvild Sæbu Vatn, Matti Viig

Ringve Botanical Garden Viewing Platform, 2007

Semesterkurs an der Architekturfakultät der NTNU Trondheim
Projektleitung: Prof. Dr. Knut Einar Larsen und Simen Ston, NTNU Trondheim
Technische Beratung: Christoph Schindler und Fabian Scheurer, designtoproduction GmbH
Holzbau: Christian Schmid, Kjeldstad Sagbruk & Hovlen AS Selbu
Teilnehmer: Hanne Reidun Brobak, Kjersti Moen Fagerheim, Geraldine Fischesser, Frederik Gaillard, Håkon Hasslan, Håvard Houen, Gesine Kamp, Ingrid Melbye Michelsen, Susanne Saue, Anne Solbraa, Hedvig Elisabeth Oberg, Pasi Aalto

Zipshape Konzeptentwicklung, 2007

Privatwirtschaftliches Forschungsprojekt
Konzept, Geometrie und Projektleitung: Christoph Schindler, designtoproduction GmbH und schindlersalmerón
CNC-Fertigung: Bach Heiden AG, Heiden
Vakuumverklebung: Schilliger Holz AG, Küssnacht am Rigi mit Woodtec Fankhauser GmbH, Vordemwald
Unterstützung: IKEA Stiftung (Schweiz)

Zipshape Weiterentwicklung, 2008

Semesterkurs an der Fachschule für Holztechnik Hamburg
Projektleitung: Mark Wendt, Fachschule für Holztechnik Hamburg
Konzept und Geometrie: Christoph Schindler, schindlersalmerón
Formgebung, CNC-Fertigung: Forschungsgruppe Fachschule für Holztechnik Hamburg Robert Aimer, Klaus von Felde, Olaf Illner, Sven Rehders, Thorsten Schütt, Hannes Wolf

Flankenschnittstuhl F/01, 2008

Stuhlentwurf
Entwurf und Konstruktion: Christoph Schindler und Margarita Salmerón Espinosa, schindlersalmerón
CNC-Fertigung: Dario Fedele, Fedele Chairs, Corno di Rosazzo (Udine)

8.3 Lebenslauf

21.09.1973 * Erlangen, Deutschland

Ausbildung

14.04.2000: *Diplomprüfung* im Studiengang Architektur an der Universität Kaiserslautern, Gesamtnote ‹sehr gut (1.4)›

11.1999–04.2000: *Diplomarbeit* ‹Innenraumgestaltung Boeing Business Jet›; Betreuung: Prof. Bernd Meyerspeer, TU Kaiserslautern und Dipl.-Ing. Andreas Strohmayer, Lehrstuhl für Luftfahrttechnik, TU München

10.1993–10.2000: *Architekturstudium* TU Kaiserslautern

Praktische Tätigkeit

02.2005–: Firmengründung *‹schindlersalmerón›*, Herstellung von Architektur und Produkten mit Margarita Salmerón Espinosa

02.2007–08.2008: Firmengründung *‹designtoproduction›*, Computerunterstützte Automatisierung von Planung und Ausführung komplexer Architektur mit Fabian Scheurer und Arnold Walz

04.2000–01.2001: *MVRDV Architekten*, Rotterdam, Anstellung als Architekt

06.1993–03.1999: *div. Praktika* bei Bauunternehmen Michael Kreiner (Erlangen), SIAT Bauplanung und Ingenieurleistungen (Erlangen), MGF Mahler Günster Fuchs Architekten (Stuttgart), Feuilleton ‹Die Rheinpfalz› (Kaiserslautern), db Deutsche Bauzeitung (Stuttgart), Marble Fairbanks Architects (New York) und MVRDV Architekten (Rotterdam)

Lehrtätigkeit

09.2008–12.2008: *Fachschule für Holztechnik Hamburg*, Mark Wendt, technische Beratung und Betreuung bei Semesterprojekt ‹Zipshape›: Entwurf und Ausführung eines freischwingenden Schaukelstuhls mit Zipshape-Konstruktionsprinzip

08.2007–12.2007: *NTNU Trondheim*, Prof. Knut Einar Larsen; technische Beratung und Betreuung bei Semesterprojekt ‹Botanical Garden Viewing Platform›: Entwurf und Ausführung einer Aussichtsplattform auf CNC-Holzbaumaschinen

08.2006–12.2006: *NTNU Trondheim*, Prof. Knut Einar Larsen; technische Beratung und Betreuung bei Semesterprojekt ‹Camera Obscura›: Entwurf und Ausführung einer begehbaren Camera Obscura auf CNC-Holzbaumaschinen

01.2006: *Hochschule Liechtenstein*, Gastdozent bei 1-wöchigem Kompaktprojekt ‹RauchRaum›, Entwurf und Ausführung eines Raucherpavillons in Holz

08.2005: *EASA005*, Bergün (Schweiz), European Architecture Students Assembly, Tutor bei 2-wöchigem Workshop ‹BuildingBridges›, Entwurf und Ausführung einer dauerhaften hölzernen Fussgängerbrücke

07.2003: *EASA003*, Århus (Dänemark), European Architecture Students Assembly, Tutor bei 2-wöchigem Workshop ‹Lasercutting›, Arbeiten mit Modell-Laserschneidemaschine

03.2001–03.2007: *Professur für CAAD ETH Zürich*, Prof. Dr. Ludger Hovestadt, Wissenschaftlicher Assistent, Leitung u.a. von 4 Diplomwahlfächern, 5 Seminarwochen, 3 Nachdiplommodulen, 4 Diplombegleitfächern, 2 Semester Ausbildung Grundstudium

11.2000–12.2000: *Berlage Institut*, Rotterdam, Tutor bei Forschungsprojekt ‹KM3/The 3D City› von Winy Maas/MVRDV, Rotterdam und Wiel Arets, Maastricht

07.2000–08.2000: *International University of Andalucia*, Baeza (Spanien), Tutor bei 2-wöchigem Workshop ‹Paisajes, Redes, Comunicaciones›

10.1996–03.1998: *Lehrgebiet Baukonstruktion 2, TU Kaiserslautern*, Prof. Klaus Mahler (MGF Architekten, Stuttgart), Tutor für Studenten des 3. und 4. Semesters

Auszeichnungen

2009: *BLICKFANG Designpreis*, BLICKFANG Designmesse mit Design Center Stuttgart, für schindlersalmerón

2008: *M Technology Award SILVER*, iF International Design Forum, für designtoproduction mit schindlersalmerón

2008: *iF Material Award 2008*, iF International Design Forum, für designtoproduction mit schindlersalmerón

2007: *Design Plus Material Vision 2007*, Rat für Formgebung, für designtoproduction mit schindlersalmerón

2007: *holz21*, Neue Horizonte 2007, Schweizerisches Bundesamt für Umwelt BAFU, für designtoproduction, Förderpreis

2006: *Special Award Custom Design Xaver.06*, Swiss Exhibition and Event Award, für Instant Architekten mit ETH Zürich, Professur Hovestadt, Forschungsgruppe caad.designtoproduction, Förderpreis

2006: *KMU Primus 3. Preis*, Förderpreis der St. Galler Kantonalbank, für Bach Heiden AG mit ETH Zürich, Professur Hovestadt, Forschungsgruppe caad.designtoproduction, Förderpreis

2005: *holz21*, Neue Horizonte 2005, Schweizerisches Bundesamt für Umwelt BAFU, für ETH Zürich, Professur Hovestadt, Forschungsgruppe caad.designtoproduction, Förderpreis

Umschlagvorderseite:
Römische Axt, ca. 500–200 v. Chr., Sammlung des Duke von Wellington (GOODMAN 1964, S. 23)
Kreissäge ca. 1880, Powis, James, Western & Col, London (POWIS BALE 1880, S. 20)
John T. Parsons Originalentwurf des Cardamatic Milling Systems, 1948 (NOBLE 1984, S. 108)

Umschlaginnenseite:
Römische Abbundzeichen auf einer Blockbauwand eines Pfarrhauses von 1752 aus Leikanger (Sogn), aufgestellt im Norsk Folkemuseum, Oslo (Foto: Autor)



Zeitgenössische Fertigungstechnik ist im Begriff, einen Einfluss auf die Architekturentwicklung auszuüben wie zuletzt in der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts. Während neue computergestützte Möglichkeiten auf breiter Basis diskutiert und erprobt werden, bleiben ihre Wurzeln und ihr Verhältnis zu früheren Fertigungstechniken im Dunkeln.
Christoph Schindler betrachtet Architektur aus der Perspektive der Fertigungstechnik. Ziel ist es, die von aktueller Informationstechnik getriebene gegenwärtige Forschung im Bauwesen historisch zu kontextualisieren und als Teil einer kontinuierlichen Entwicklung zu identifizieren.
Im Zentrum der Arbeit steht als These das Schema eines allgemeinen technikgeschichtlichen Periodisierungsmodells, das handwerkliche, industrielle und informationstechnische Fertigung zu integrieren versucht. Grundlage dieses Periodisierungsmodells ist das Verhältnis der drei Kategorien Stoff, Energie und Information in der jeweiligen fertigungstechnischen Periode. Die Stichhaltigkeit des Modells wird anhand der Geschichte des Holzbaus überprüft, da der Holzbau wie keine andere Konstruktionsweise die Beziehungen zwischen Fertigungstechnik und Bauen umfassender über einen vergleichbar langen Zeitraum illustriert. Es wird untersucht, ob das vorgeschlagene Modell sich anhand von historischen Fakten belegen lässt – wie grundlegende Veränderungen in der Fertigungstechnik die Holzverarbeitung beeinflusst und wie diese jeweils Konstruktion und Erscheinungsbild der Holzarchitektur geprägt haben.



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

ISBN-13: 978-3-033-02322-2

Zeitgenössische Fertigungstechnik ist im Begriff, einen Einfluss auf die Architekturentwicklung auszuüben wie zuletzt in der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts. Während neue computergestützte Möglichkeiten auf breiter Basis diskutiert und erprobt werden, bleiben ihre Wurzeln und ihr Verhältnis zu früheren Fertigungstechniken im Dunkeln.
Christoph Schindler betrachtet Architektur aus der Perspektive der Fertigungstechnik.
Ziel ist es, die von aktueller Informationstechnik getriebene gegenwärtige Forschung im Bauwesen historisch zu kontextualisieren und als Teil einer kontinuierlichen Entwicklung zu identifizieren.
Im Zentrum der Arbeit steht als These das Schema eines allgemeinen technikgeschichtlichen Periodisierungsmodells, das handwerkliche, industrielle und informationstechnische Fertigung zu integrieren versucht. Grundlage dieses Periodisierungsmodells ist das Verhältnis der drei Kategorien Stoff, Energie und Information in der jeweiligen fertigungstechnischen Periode.
Die Stichhaltigkeit des Modells wird anhand der Geschichte des Holzbaus überprüft, da der Holzbau wie keine andere Konstruktionsweise die Beziehungen zwischen Fertigungstechnik und Bauen umfassender über einen vergleichbar langen Zeitraum illustriert. Es wird untersucht, ob das vorgeschlagene Modell sich anhand von historischen Fakten belegen lässt – wie grundlegende Veränderungen in der Fertigungstechnik die Holzverarbeitung beeinflusst und wie diese jeweils Konstruktion und Erscheinungsbild der Holzarchitektur geprägt haben.



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

ISBN-13: 978-3-033-02322-2